

Epistemología de la Geología

Introducción

La carrera de Bachillerato y Licenciatura en Geología se instauró en la Universidad de Costa Rica desde abril de 1967, y en noviembre de ese año se creó la Escuela Regional de Geología con sede en la Universidad de Costa Rica (Castillo y Peraldo, 2000). Este plan de estudios se revisó en el año 1994 y actualmente, 22 años después, se lleva a cabo una nueva revisión integral que incluye: el perfil de egreso, la malla curricular y el plan de estudios.

Este proceso requiere de una profunda revisión de la historia de la Escuela, las raíces filosóficas de la carrera y sus bases disciplinares. Desde esta perspectiva, es fundamental el análisis del objeto de estudio de la Geología mediante una discusión filosófica epistemológica. Esto se llevó a cabo con base en la revisión bibliográfica y la realización de talleres con las poblaciones de estudiantes y docentes de la Escuela Centroamericana de Geología.

Generalidades de la epistemología

El conocimiento es una construcción o una inferencia cuyo proceso es una entelequia que subordina el objeto al sujeto, de cuya óptica surge su relacionamiento o definición (Montiel Valentini, 2012). En otras palabras, para el desarrollo teórico sobre la Geología y su epistemología, el resultado concreto de esta subordinación será el objeto formal que se definirá en próximas líneas.

La denominada “teoría del conocimiento”, fue impulsada en los siglos XVI, XVII y XVIII por los filósofos Francis Bacon, René Descartes y el inglés John Locke; sin embargo, se puede remontar a la Antigüedad Clásica desde que los pensadores o filósofos griegos, tales como Platón y Aristóteles. Todos los anteriores pensadores han elucubrado y construido diferentes formas de aproximarse al conocimiento (Guzmán Díaz, 2005; Montiel Valentini, 2012).

Frecuentemente se utilizan las expresiones de “teoría del conocimiento” y “epistemología” como intercambiables; sin embargo, no lo son, en tanto el segundo se emplea para referirse, específicamente, a la teoría del conocimiento científico, es decir, a la disciplina dirigida al estudio crítico de las ciencias y que tiene como objetivo determinar el valor, el fundamento lógico y el campo de acción

de ellas (Guzmán Díaz, 2005, Montiel Valentini, 2012). Este nuevo concepto empieza a usarse desde que la obra de Bertrand Russell, “*Los fundamentos de la geometría*”, es traducida al francés y se utiliza el término “*epistemologie*” que se considera el punto de partida del uso de la palabra epistemología como distinta a la teoría general del conocimiento construida por los antiguos filósofos (García, 2006). La epistemología busca entonces: la verdad, la objetividad, la realidad, la justificación (Montiel Valentini, 2012).

Aristóteles se refiere a las virtudes que permiten la perfección del entendimiento o de la razón en relación al conocimiento de la verdad y se adquieren por medio del aprendizaje y de la instrucción. Él las divide en aquellas que permiten la perfección de la razón práctica que son la *phronesis* (sabiduría práctica) y la *techné* (arte), y en aquellas que permiten la excelencia de la razón teórica: la ciencia (*episteme*), la inteligencia (*nous*) y la sabiduría (*sophia*) (Borisonik, 2011).

El concepto de *episteme* es el conocimiento reflexivo elaborado con rigor (Montiel Valentini, 2012) o bien, más ampliamente, según Cerrón Rojas (2014) podría considerarse como la forma esencial en que el conocimiento auténtico, seguro y confiable se presenta en la historia, es el soporte necesario del espíritu investigador porque constituye el inicio para generar conocimientos originales e interdisciplinarios al servicio de la humanidad.

De lo anterior nace el ejercicio científico, como una práctica cognitiva que no se satisface con mera explicación sensorial de los procesos. Ejemplo de esto, es la experiencia de los retumbos ocurridos antes y después de un sismo. Una explicación aceptable para resolver la naturaleza de los retumbos, es que hay un volcán en las cercanías que está provocando los temblores. Por experiencia se sabe que en muchas ocasiones los volcanes activos producen sonidos que son conocidos como retumbos. Dicha explicación será satisfactoria para personas legas en Sismología. Sin embargo, ante la ausencia de volcanes en los alrededores las preguntas persisten. Es acá donde el científico sale de la percepción cotidiana para indagar qué otro “*fenómeno*” estaría produciendo los retumbos que la gente escuchó antes y después del sismo. Se empiezan a separar dos líneas bien definidas en el ejercicio científico: la percepción pura y el cuestionamiento a lo percibido. Ese cuestionamiento hacia lo meramente percibido se logra mediante el empirismo y el racionalismo.

El empirismo parte de la observación sistemática, mientras que el racionalismo considera la razón irreductible a la experiencia. Si se analiza a la luz de estos

conceptos el ejercicio de la sismología en el ejemplo expuesto, se entiende que la interiorización y el pensamiento que se hace del “fenómeno” percibido, parte de la percepción sensorial: escuchar el retumbo. El empirismo indaga si en el pasado han sido registrados sonidos similares en temblores históricos y si existen estructuras volcánicas en los alrededores. El racionalismo por su parte, cuestiona qué es el sismo y cómo se genera. Entonces, el hacer ciencia parte de un empirismo y la razón se ha empleado en entender los procesos. Se escriben una serie de hipótesis sobre el origen de los retumbos antes , durante y después de un sismo.

La ciencia, como resultado de la inherente curiosidad y necesidad de saber qué ha demostrado el ser humano, se enfoca hacia un determinado objeto de investigación. Parte de un conjunto de conocimientos objetivos y verificables obtenidos a partir de una metodología que se basa en la observación, la experimentación, la sistematización y el análisis cualitativo y cuantitativo de datos, que explican principios y causas mediante la formulación y verificación de hipótesis para constituir principios y teorías, en otras palabras: el método científico.

El objeto de estudio de la Geología

Durante siglos, el principal inconveniente de la Geología para explicar en un orden coherente la dinámica terrestre fue formular una teoría que integrara en un sólo modelo y en un marco temporal apropiado la geodinámica interna y externa de la tierra (Manrique-Bonilla, 2009). Esto ha hecho de la Geología, una disciplina científica que desde sus orígenes se ha caracterizado por dar una gran importancia al aspecto histórico-crítico, desde 1729 y hasta el primer tercio del siglo XIX, cuando surgían y se discutían muchas propuestas de interpretación sobre el origen y el desarrollo histórico de la Tierra por parte de filósofos y naturalistas (Pelayo, 1996). Aunque la Geología como disciplina aparece hasta el siglo XIX, el naturalista Nicolás Steno (1638-1686) propuso la primera generación de conceptos geológicos en su obra el Prodrumus (1669), la cual inicia de la siguiente manera: “*Dado un cuerpo dotado de una forma y producido según las leyes de la naturaleza, hallar en el cuerpo mismo las pruebas que establecen el lugar y el modo de producción*” (Alsina Calvés, 2013). De esta forma Steno no solo deja claro el objeto de estudio de la Geología, sino también, el principio metodológico para la reconstrucción del pasado a partir de pruebas (estratos, sedimentos, fósiles) encontradas en el presente.

La Geología es la ciencia que se ocupa del estudio de la Tierra, su origen y transformaciones, los materiales que la conforman, su distribución en el espacio y en el tiempo y los procesos de transformación que experimentan. En palabras de Castaño Fernández y Blanco Mayor (1992): *“Es la ciencia que se ocupa del estudio de las diversas partes de la Tierra y de la elaboración de las hipótesis que permite explicar su disposición y reconstruir su historia. Comprende el estudio de la Tierra en su totalidad: origen, estructura, composición e historia. La Geología puede considerarse como un conjunto de conocimientos sobre nuestro planeta que crece por la adición de observaciones, verificaciones e interpretaciones”*. De este concepto, se desprende una gran complejidad propia de esta ciencia, ya que posee un componente histórico (origen y evolución) y se basa en la observación (Castaño Fernández, 1987) de lo que surge luego el análisis descriptivo y sistémico (composición, estructura); pero también dinámico y hasta predictivo. Es precisamente esta componente histórica la que hace de la Geología una ciencia independiente de la Física y la Química (Pedrinaci y Berjillos, 1994).

Desde un fundamento filosófico, toda ciencia tiene un objeto de estudio que especifica su campo de acción temático e investigativo. Este objeto está dividido en dos: el objeto material definido como aquello en lo que uno está interesado como objeto de estudio y el objeto formal como aquello específico en lo que uno se fija al estudiarlo, define la perspectiva de estudio con que se aborda y coincide con la función que fijan como clave para su justificación (Roca-Balash, 2013). El objeto formal se refiere a la comprensión de la disciplina a partir de las teorías que se han construido para comprender y explicar el objeto material (Centro de Evaluación Académica, 2015).

El objeto material

La Geología tiene como objeto material de estudio el planeta Tierra. Sin embargo, esto lo hace a partir de su segregación en otros objetos materiales tales como: los elementos que la componen que pueden ser sólidos (e.g. rocas, minerales, fósiles e icnofósiles), líquidos o fluidos (e.g. magma, agua subterránea, petróleo) y gaseosos (e.g. gases volcánicos, gases de origen orgánico); su estructura, la interacción entre cada uno de esos elementos y las transformaciones externas (procesos exógenos) e internas (procesos endógenos) que ocurren el planeta. El objeto sustancial, también abarca otros planetas que pueden entenderse en función de la misma segregación así como los mismos principios y procesos del planeta Tierra.

El objeto formal

El objeto formal de la Geología corresponde al producto generado cuando se aplica la teoría y principios a ese conjunto dinámico tal como se definió en el objeto material. En otras palabras, es el constructo visualizado del objeto material a través de la teoría y principios elaborados para explicarlo, como por ejemplo: la teoría de la Tectónica de Placas, entre otros paradigmas de la Geología, a través de los cuales se conceptualizan las transformaciones del planeta y los procesos que las generan. Por ejemplo, en el caso de la Paleontología, que si bien es una ciencia *per se* requiere de un conocimiento geológico sólido, el objeto material es el fósil pero para entenderlo, necesitamos objetos formales, tales como una teoría de sedimentación, una teoría de diagénesis, una teoría orogénica (Pedrinaci, 2001) y, además, una teoría de la evolución de las especies. La figura 1 resume, de manera sintética, niveles dentro de las disciplinas que conforman la Geología. Desde los niveles más básicos, con los que se consiguen las primeras nociones en donde el objeto material es la roca y sus partes constitutivas. Los siguientes niveles se fundamentan en las bases para seguir construyendo el conocimiento en Geología.

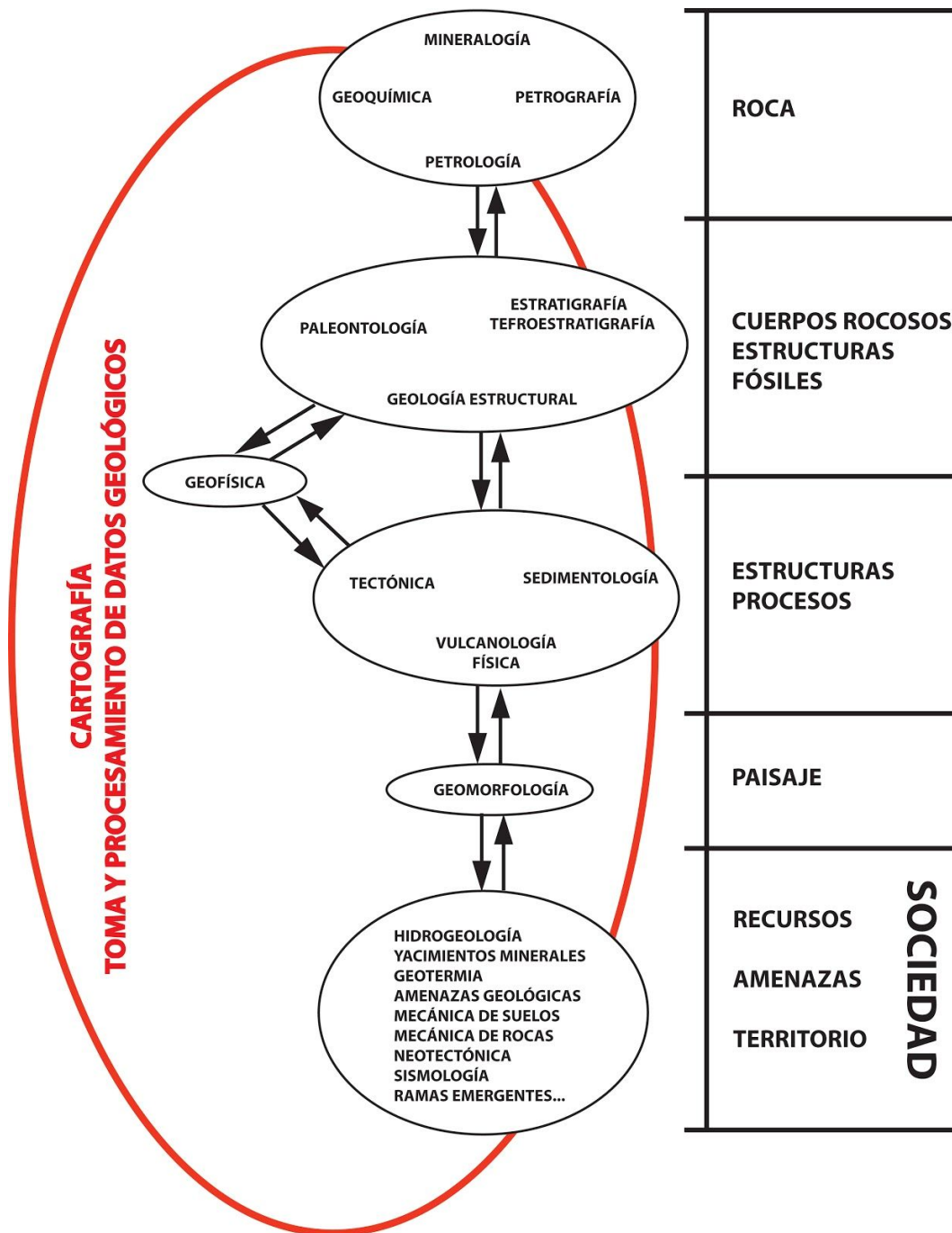


Figura 1. Relación entre las diferentes disciplinas de la Geología las cuales pueden ser visualizadas en niveles según el objeto de estudio. La cartografía geológica (marcada en la elipse de color rojo) es transversal a todas las ramas geológicas. Las flechas dobles indican el proceso en Geología de avanzar-retroceder que permite descartar hipótesis o enunciados de los

múltiples planteados hasta quedarse con el o los más plausibles. (Fuente: elaboración propia).

Esto debe replantearse con base en los resultados del taller con docentes

Escalas espaciales y temporales de la Geología

Para establecer relaciones entre los hechos investigados que conduzca a su correcta agrupación y clasificación, se deben considerar tres factores fundamentales en la investigación geológica: **Tiempo, Espacio y Escala** (Castaño Fernández y Blanco Mayor, 1992).

El concepto de tiempo geológico

El tiempo es un concepto básico en Geología y se halla en el tratamiento de todos los procesos geológicos, en el tanto la Tierra está en cambio permanente y, a partir de ello, cada periodo geológico es susceptible de ser caracterizado, diferenciándolo de los anteriores y posteriores, gracias a las “huellas” o evidencias de esos cambios, a partir de los cuales es posible establecer una lógica interna que permita secuenciar los procesos y establecer, entonces, un orden en la sucesión temporal (Pedrinaci, 1993).

La Geología se desenvuelve en escalas temporales muy amplias, desde miles de millones de años hasta millones o cientos de años, por cuanto se ocupa del estudio de los acontecimientos geológicos desde que el planeta Tierra formó, es decir, hace unos 4600 millones de años. Esto significa que muchos procesos planetarios son muy lentos y trascienden una o más generaciones humanas e, incluso, el origen del ser humano. A esto se le conoce como el **tiempo geológico**.

Sin embargo, también existen procesos en el planeta que ocurren de manera súbita o en lapsos cortos, tales como los sismos o erupciones volcánicas (del orden de segundos, horas y días). Adicionalmente, la tecnología ha permitido el acceso al estudio de las transformaciones del planeta Tierra incluso en tiempo real, es decir, de manera casi continua, como lo ha sido el desarrollo de los sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en Inglés) o los modernos sismómetros.

Pedrinaci y Berjillos (1994) el tiempo geológico como un concepto complejo integrado por un conjunto de nociones básicas, relacionadas entre sí (cambio

geológico, facies, sucesión causal y cronología relativa y absoluta) pero que cada una no procura una adecuada perspectiva geológica temporal, sino que es el desarrollo de todas estas nociones temporales y de sus interacciones lo que permite la construcción del concepto de tiempo geológico.

El espacio

La geometría tridimensional es un factor determinante y caracterizador de cualquier elemento geológico, el cual posee masa, volumen y forma, emite o absorbe calor y modifica localmente parámetros de su entorno (Castaño Fernández y Blanco Mayor, 1992) como, por ejemplo, un cuerpo magmático intrusivo el cual puede poseer una forma tabular o bien, masiva, intercambia calor con el medio y lo modifica dando como resultado rocas metamórficas de contacto, o bien, alteración hidrotermal.

La escala

La escala espacial de trabajo constituye otra particularidad de la Geología. En esta ciencia se puede trabajar desde la escala submicroscópica hasta territorios específicos, continentes o incluso a escala global (el planeta), según sea el objeto y el objetivo del estudio geológico. La comprensión de la dinámica de la Tierra exige el manejo de grandes escalas espaciales (perspectiva global) así como los procesos implicados requiere para su estudio también el uso simultáneo de escalas menores (Pedrinaci, 2001). De esta manera, la escala determina las propiedades de continuidad y discontinuidad del proceso o del elemento estudiado (Castaño Fernández y Blanco Mayor, 1992).

Diferencias epistemológicas de la Geología con otras ciencias

La relación epistemológica *objeto - sujeto* cambia en función de la naturaleza del objeto de estudio y del sujeto que lo estudia. En el caso de Geología, el sujeto está sobre el objeto material y no es parte integral de ese objeto de estudio. Tampoco el objeto es abarcado en su totalidad por el sujeto y ambos no comparten una misma naturaleza. También es el caso de la Astronomía, en donde el objeto material es infinito, el sujeto sucumbe ante tal objeto. Sin embargo, existen disciplinas en donde la relación objeto - sujeto es más difusa, sobre todo en las ciencias sociales en donde el sujeto está contenido y al mismo tiempo forma parte del objeto material que estudia: comparten una misma naturaleza. Es el caso de la historia, en donde el historiador aprende su objeto de estudio, siendo

él mismo protagonista dentro de su objeto. Esto permite que el historiador llegue a conclusiones diferentes respecto a la historia de ese objeto, dependiendo de dónde posiciona su ser y estar dentro de ese objeto. También es el caso de la Sociología, el sujeto es parte integrante e inherente al objeto que trata de entender (el sujeto se troca en objeto). Tanto el historiador como el sociólogo ven desde dentro su objeto siendo el sujeto un elemento integrante del objeto y su estudio se troca en un diálogo.

¿Cómo se construye el conocimiento en Geología?

Según Castaño Fernández y Blanco Mayor (1992) es, una forma de pensar, enfocar y abordar el problema en tanto que la técnica puede considerarse como el instrumento, el conjunto de recursos materiales, utilizados para responder a las cuestiones planteadas por el método.

El método

Los métodos experimentales son generalmente sostenidos como el paradigma para probar hipótesis, es por ello que el método científico se diseminó ampliamente con una fuerte base experimental. Sin embargo, no todas las hipótesis científicas pueden ser probadas en el laboratorio, como por ejemplo aquellas que son históricas y que son típicas en Geología (Cleland, 2001). Los objetos geológicos son físicos, químicos e históricos, y por lo tanto cualquier problema que se aborde es de gran complejidad (Collo, 2003). En este sentido, dos dificultades diferencian la Geología de otras ciencias naturales:

A) La dificultad de reproducir en laboratorio los procesos que observa (Castaño Fernández, 1987; Pedrinaci, 2001; Collo, 2003). Sabarís (1984) confronta las ciencias experimentales y pone en evidencia su falta de comprensión ante la interpretación meramente empírica en el caso de ciencias que como la Geología no pueden reproducir los procesos que el geólogo observa en el campo. El autor también señala que: *“ante la imposibilidad de experimentación, el geólogo se ve obligado a recurrir al método de las hipótesis múltiples simultáneas, como sistema de aproximación a la verdad. A veces la posibilidad de eliminar una sola de esas hipótesis, a consecuencia de un hecho nuevo o de la ayuda de una nueva técnica, supone ya un avance notable que conduce a una reinterpretación netamente nueva. En todo caso, la eliminación de todas las hipótesis formuladas menos una, la más probable, constituye una gran victoria”*. Sin embargo, es importante señalar que la no posibilidad de experimentación, o bien, la no posibilidad de acercarse

fehacientemente a la realidad, no pone a la Geología en un plano inferior necesariamente con respecto a una ciencia experimental (Cleland, 2001).

B) En el caso de la Química el científico puede reproducir un proceso mediante ensayos de laboratorio que puede elaborar con una gran exactitud. En Geología, en la mayoría de los casos, esa experimentación no es posible. Además, la toma de datos en el campo, no tienen la connotación de exactitud y precisión con que se trabaja en química. Por ejemplo, la medición de un buzamiento se hace en un plano visible en un determinado sector de un área de estudio y se dice, entonces, que toda la secuencia en ese sector buza según lo medido, sin embargo, no tomamos en consideración que el plano no es perfecto, tiene irregularidades y que nunca sabremos la exactitud de lo que mide ese buzamiento en ese sector de estudio. Esto denota un aspecto importante de diferencias que son consecuencia de lo referido por Cleland (2001), y es que la geología es una ciencia natural no exacta (¿cuánto debe ser exacto en Geología?), contra química que es una ciencia exacta (se trabaja con cifras significativas que darán el grado de exactitud con el que se realizó un experimento o se hizo una determinada medición).

C) La persona estudiosa de la Geología vive sobre el objeto que estudia, o sea el planeta. Lo anterior tiene como resultado que quien investiga en Geología, no puede abarcar desde un solo sitio los procesos y los productos geológicos, de acá la importancia de los conceptos de escala y de espacio. Esto implica, además, que las zonas más profundas del planeta se desconocen y se han estudiado a partir de observaciones indirectas, por lo tanto se tienen modelos a partir de información tal como el comportamiento de las ondas sísmicas o de la gravedad.

Actualmente, los avances tecnológicos (instrumentación, computación, sistemas de cómputo, realidad virtual, entre otros) han permitido un acceso mayor a la experimentación tanto analógica (de laboratorio) como numérica, e incluso, la combinación de ambos, los cuales permiten recrear cada vez de mejor manera muchos procesos de la naturaleza. Sin embargo, prevalecen aún la multiplicidad de variables que se conjugan en estos procesos que todavía hacen imposible un acercamiento fehaciente a la realidad y, por lo tanto, los modelos obtenidos siempre tienen un alto grado de simplificación. Esto explica por qué aún no es posible predecir un sismo.

La Geología, por lo tanto, aborda su objeto de estudio desde un marco teórico y metodológico desde los que obtiene información de los objetos materiales de interés, los analiza y construye varias hipótesis para explicar el proceso relativo a

esos objetos materiales. En palabras de Cleland (2001): *“las diferencias en la metodología que realmente existen entre la ciencia histórica y la experimental, están ligadas a un rasgo objetivo y omnipresente de la naturaleza, a la asimetría de la sobredeterminación”*. En Geología frecuentemente solo se cuenta con porciones de información las cuales estudia y analiza y, si es necesario o bien si las circunstancias lo permiten, incorpora nueva información y repite el proceso nuevamente. Este avanzar-retroceder, le permite ir descartando hipótesis o enunciados de los múltiples planteados hasta que se queda con el o los más plausibles (Cleland 2001; Collo, 2003), como ilustran las flechas en ambos sentidos mostrada en la figura 1. Una suerte de método basado en la inducción y la deducción, al fin de cuentas lo que conforma el método científico, en donde no se llega a enunciados universales sino que se postulan soluciones particulares para un ámbito geológico particular (Collo, 2003; Castaño Fernández y Blanco Mayor, 1992).

Con base en lo anterior, los resultados que se obtienen son verdades probables o postulados, no verdades absolutas. De esto, surge un elemento de riesgo ya que actualmente es común ver cómo esas verdades probables se retoman y se asumen como verdades absolutas, muchas veces sin cuestionarlas, ni confirmarlas o rechazarlas. Por lo tanto, un investigador que trabaja con la información citada (secundaria) y no con la fuente original (primaria), no tiene claro que las verdades son probables y no absolutas (Collo, 2003). Esto genera una deformación en el conocimiento geológico e induce, incluso, a la investigación circular en donde ya no es posible reconocer los postulados iniciales y la información original, a menos que se logre dar, con las fuentes de información primarias que permitan hacer un trazado de las hipótesis o enunciados que ya han quedado obsoletos a la luz de nuevas contribuciones y cuales permanecen vigentes o han sido modificados para explicar mejor lo que ocurre.

La técnica

El trabajo de campo reúne un conjunto de técnicas fundamentales y clásicas para la toma de datos. Adicionalmente, el desarrollo de modernas técnicas instrumentales, estadísticas e informáticas que se aplican a la Geología ha propiciado: 1) Que la toma de datos de campo sea más refinada, por ejemplo en lo que respecta a la ubicación espacial con ayuda de los modernos sistemas de posicionamiento global (GPS); 2) Un amplio desarrollo de trabajo de gabinete que lleva incluso a que en muchos casos, existan geólogos que se dediquen a ello (sin olvidar, por supuesto, que requieren conocimiento de causa para trabajar con la

información); 3) La posibilidad de ampliar la cantidad de información indirecta, fundamentalmente con el desarrollo de la Geofísica, que cada vez más frecuentemente acompaña el trabajo de la Geología de superficie; 4) La capacidad de toma de datos a diferentes escalas, desde sub y microscópica con los modernos microscopios electrónicos de barrido (*MEB* o *SEM*, por *Scanning Electron Microscope*) que son capaces de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón-materia, hasta macroscópica y megascópica gracias a los modernos sistemas de información geográficos (SIG) y la toma de imágenes satelitales, LIDAR ("*Light Detection and Ranging*, o bien, *Laser Imaging Detection and Ranging*") y los instrumentos voladores no tripulados conocidos como "*drones*"; 5) Un aumento en la cantidad de datos disponibles, lo cual requiere de conocimientos adicionales para la sistematización de esta información que, incluso, puede implicar la incursión desde la Geología, hasta la generación de programas informáticos que se adapten a las necesidades particulares o bien, el aprendizaje de programas existentes para tal efecto. Sin embargo, se cae en paradoja en que está llegando actualmente la ciencia: una cantidad pavorosa de información que ya se hace inmanejable para el científico.

Geología: una ciencia de principios e hipótesis

Una consecuencia de la construcción compleja del conocimiento en Geología y la falta de experimentación es que carece de leyes propias como sí ocurre en otras ciencias. Con el tiempo, el desarrollo de sofisticadas técnicas instrumentales ha permitido estructurar un modelo geológico a escala planetaria como lo es la Tectónica de Placas (Castaño Fernández, 1987), la cual ha ido evolucionando conforme avanza el desarrollo tecnológico que permite mejorar las observaciones directas e indirectas del planeta. Podemos enunciar algunos principios fundamentales que han guiado el quehacer geológico, tales como:

1. El actualismo y el uniformitarianismo.
2. Principio de superposición de estratos.
3. Principio de horizontalidad original y continuidad de los estratos.
4. Principio de sucesión faunística o de la correlación.
5. Principio de la simultaneidad de eventos.
6. Ley de relaciones cortantes.
7. Principio de correlación de facies.

Obstáculos epistemológicos en la enseñanza-aprendizaje de la Geología

En el estudio y la comprensión de la geología se han generado una serie de percepciones que devienen en obstáculos para la enseñanza - aprendizaje de la geología. Pedrinaci (2001) señala seis percepciones que considera obstáculos epistemológicos fundamentales en Geología:

1. La inmutabilidad terrestre: La lentitud, vista desde la escala temporal humana, con la que ocurren muchos procesos geológicos ha generado interpretaciones estáticas y, en la actualidad, genera una percepción similar en el ser humano.
2. El catastrofismo precientífico: Este inhibe el cuestionamiento sobre los procesos geológicos, o la búsqueda de explicaciones. En ausencia de cambio no hay nada que explicar o bien, permite obtener justificaciones rápidas sin entender la mecánica del proceso al que se recurre (generalmente terremotos) ni capacidad o incapacidad para provocar los cambios atribuidos.
3. El origen de las rocas: La idea de que todas las rocas tienen un origen más o menos próximo ha debido superar históricamente importantes obstáculos, ya que hasta el siglo XVII no había teorías sobre el origen de las rocas ni se había planteado formalmente la cuestión. Con excepción de algunas rocas volcánicas, no se percibe la formación de ninguna roca nueva. El ritmo al que ocurren estos procesos, unido a que suceden a cierta o a mucha profundidad hace que permanezcan ocultos ante la mirada de cualquier observador.
4. La cronología: La barrera imaginada, o dificultad de representar mentalmente valores temporales de la magnitud requerida en Geología ha generado dos tendencias: 1) pensar en una Tierra estable o interpretaciones catastrofistas, 2) imaginar la historia de la Tierra como una sucesión indefinida de ciclos, cada uno de los cuales borraba total o parcialmente las huellas del anterior.
5. La diversidad y amplitud de las escalas espaciales: la necesidad de manejar escalas globales o muy pequeñas, e, incluso, el hecho de pasar de una a otra.
6. La inaccesibilidad de estos procesos: La dificultad de reproducir muchos procesos geológicos en el laboratorio dificulta su comprensión. Asimismo, muchos de ellos ocurren a profundidad por lo que no es posible observarlos.

7. La naturaleza de las rocas: La noción de los procesos tectónicos y la posibilidad de que los esfuerzos pueden deformar las rocas de manera plástica.

Geología: una compleja relación de disciplinas

La segregación del objeto material planeta Tierra en otros que puedan ser más fácilmente abordables, nos conduce a las diferentes disciplinas que componen la Geología como se muestra en el cuadro N°1. Asimismo, el desarrollo tecnológico ha desembocado en la aparición de otras. Algunas de estas disciplinas no son exclusivas de la Geología por cuanto comparten el objeto de estudio con otras ciencias como la Física, la Química o bien con las Ingenierías. Son las disciplinas denominadas grises.

Cuadro N°1: Ramas de la Geología y ciencias y especialidades relacionadas (incorporar los resultados del taller con docentes)

Disciplina	Objeto material	Objeto formal	Definición	Ciencias relacionadas
Petrología	Roca	Procesos formativos a partir de los paradigmas, teorías y principios geológicos vigentes.	Rama de la Geología que se ocupa del estudio de las rocas desde el punto de vista genético y de sus relaciones con otras rocas. Consiste en el estudio de las propiedades físicas, químicas, mineralógicas, espaciales y cronológicas de las asociaciones rocosas y de los procesos responsables de su formación. Ígnea, sedimentaria y metamórfica	Mineralogía, Cristalografía Óptica, Física, Química, Matemáticas y Geología, Vulcanología, Sedimentología
Petrografía	Los componentes petrográficos son aquellos componentes de la roca que tienen entidad física, tales como granos minerales, asociaciones particulares de determinados minerales, poros, fracturas, entre otros. (https://www.ecured.cu/Petrografía)		Es la rama de la Geología que se ocupa del estudio e investigación de las rocas, en especial en cuanto respecta a su aspecto descriptivo, su composición mineralógica y su estructura, especialmente a escala microscópica. Cabe destacar que el concepto de petrografía está formado por dos términos griegos: petra (que puede traducirse como piedra o roca) y graphos (referente a la descripción). Ya desde la denominación de esta especialidad, queda claro que la finalidad de la petrografía es estudiar a las rocas para poder desarrollar una descripción exhaustiva en base a criterios	Petrología, Mineralogía, Física, Matemática, Estadística

			científicos. (https://www.ecured.cu/Petrografia)	
			Ígnea, sedimentaria y metamórfica	
Mineralogía	Los minerales y mineraloides	Compuesto químico cristalino y sus propiedades físicas y químicas	Es la rama de la Geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales, que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación. Un mineral es un sólido inorgánico de origen natural, que presenta una composición química no fija, además tiene una estructura cristalina. Un mineral es un sólido homogéneo, con una composición química definida (variable) y una disposición atómica ordenada. Usualmente se forma mediante procesos inorgánicos.	Cristalografía, Química Química Física Matemática Geología Gemología Petrología Geología económica Mineralogénesis Termodinámica Geología estructural y tectónica Paleontología Geomicrobiología Mineralogía forense Geocronología Economía Ingeniería civil
Estratigrafía	Cuerpos rocosos.	Registro estratigráfico. Relaciones entre los cuerpos rocosos. La clasificación estratigráfica.	Rama de la Geología que trata del estudio e interpretación de los cuerpos rocosos sedimentarios, metamórficos y volcánicos que forman la corteza terrestre y su organización en unidades distinguibles, útiles, mapeables con propiedades inherentes o atributos. Los procedimientos estratigráficos incluye describir, clasificar, nombrar y correlacionar estas unidades con el propósito de establecer su relación en el espacio y su sucesión temporal. (https://wiki.ppdm.org/index.php?title=STRATIGRAPHY#Definition ; Murphy y Salvador, 1998)	Paleontología, Petrología, Petrografía, Sedimentología, Geología Estructural,
Geología Estructural	Estructuras geológicas	Procesos de deformación de la corteza terrestre	Es la rama de la Geología que se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y la relación de las rocas que las forman. Estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en superficie. Interpreta y entiende la arquitectura de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presenta y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas.	

Tectónica	Estructura de la parte sólida del planeta	Los procesos geológicos involucrados en la tectónica de placas	Es la especialidad de la Geología que estudia las estructuras geológicas producidas por deformación de la corteza terrestre, las que las rocas adquieren después de haberse formado, así como los procesos que las originan. Rama de la Geología que estudia los procesos geológicos de deformación y las estructuras que resultan de ellos, tales como las fallas y los pliegues. (http://acacia.pntic.mec.es/~lferna13/cmc/cmc0/disciplinas.html)	Geología Estructural, Física, Matemática
Geomorfología	Las formas del relieve terrestre	Relaciones entre las formas del terreno. Fisionomías según sus relaciones con otros componentes en el paisaje. Las relaciones entre formas del terreno y la dinámica terrestre. Sucesión que ha seguido el relieve hasta adquirir la configuración que tiene. (http://es.slideshare.net/javik25/geomorfologia-11811470).	Rama de la Geología y de la Geografía Física que tiene como objeto el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y su actual comportamiento.	Petrografía, Geografía, Geología Estructural
Sedimentología	Su objeto de estudio no es la roca en sí (como la Petrología) sino su ubicación dentro de la cuenca sedimentaria, y no se preocupa tanto del tiempo (como la Estratigrafía), sino del medio sedimentario propiamente dicho. (https://www.ecured.cu/Sedimentología)	La interpretación sedimentológica del registro geológico	Es la rama de la Geología que se encarga de estudiar los procesos de formación, transporte y deposición de material que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y que eventualmente forman rocas sedimentarias. Trata de interpretar y reconstruir los ambientes sedimentarios del pasado. No se encarga de la descripción de las rocas.	Estratigrafía, Petrología, Petrografía Sedimentaria, Geología Estructural, Geología Histórica, Geología del petróleo, Geología Económica, Yacimientos Minerales.
Paleontología	Fósiles y trazas fósiles	El origen, evolución de los diversos seres vivos. Biosfera.	La paleontología es la ciencia que se ocupa del descubrimiento y estudio del registro fósil para así reconstruir la historia de la vida (http://aulatres.wikispaces.com/La+ciencia+de+la+Paleontolog%C3%ADa). Se encuadra dentro de las ciencias naturales, posee un cuerpo de doctrina propio y comparte fundamentos y métodos con la Geología y la Biología con la que se integra estrechamente.	Geología, Biología
Geología Histórica	Los grandes eventos biológicos y geológicos.		Es la rama de la Geología que estudia las transformaciones que ha experimentado la Tierra desde su formación, hace unos	Estratigrafía, Tectónica, Geología Estructural

			<p>4.570 millones de años, hasta el presente</p> <p>Parte de la Geología que estudia la historia de la Tierra. (http://acacia.pntic.mec.es/~lferna13/cmc/cmc0/disciplinas.html)</p>	
Geofísica	Los campos físicos vinculados al planeta Tierra		<p>Es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra desde el punto de vista de la física. Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. Al ser una disciplina principalmente experimental, usa para su estudio métodos cuantitativos físicos.</p>	Geología, Física, Geoquímica
Geoquímica	Los elementos químicos	Leyes sobre las cuales se basa la distribución de los elementos.	<p>Es una especialidad de las ciencias naturales que, sobre la base de la geología y de la química, estudia la composición y dinámica de los elementos químicos en el Sistema Solar y la Tierra, determinando la abundancia absoluta y relativa, su distribución así como la migración de dichos elementos entre las diferentes geósferas que conforman la Tierra (litósfera, hidrósfera, atmósfera y biósfera) utilizando como principales evidencias las transformaciones e interacciones entre rocas, minerales y fluidos que constituyen la corteza y el manto terrestres, con el propósito de establecer leyes sobre las cuales se basa tal distribución.</p>	Química, Matemática, Mineralogía, Petrología
Vulcanología	Volcán		<p>Es el estudio de los volcanes, la lava, el magma y otros fenómenos geológicos relacionados.</p> <p>Rama de la Geología que estudia los fenómenos volcánicos y las formaciones geológicas a las que dan origen, tanto en la Tierra como en otros cuerpos del Sistema Solar (http://acacia.pntic.mec.es/~lferna13/cmc/cmc0/disciplinas.html)</p>	Física, Química, Matemática, Geoquímica, Estratigrafía, Petrología, Geología Estructural
Hidrogeología	El agua subterránea		<p>Rama de Geología que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen, su circulación, sus condicionamientos geológicos, su interacción con los suelos, rocas y humedales (freatogénicos); su estado</p>	Física, Química

			<p>(líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas) y su captación.</p> <p>Rama de la Geología que estudia las condiciones de la acumulación y circulación del agua subterránea, especialmente desde el punto de vista de las propiedades del terreno. http://acacia.pntic.mec.es/~lfern_a13/cmc/cmc0/disciplinas.html Custodio & Llamas (2001) Frezzy & Cherry (1979)</p>	
Sismología	Ondas sísmicas		<p>La Sismología o seismología (del griego seísmos = sismo y logos= estudio) es una rama de la geofísica que se encarga del estudio de terremotos y la propagación de las ondas mecánicas (sísmicas) que se generan en el interior y la superficie de la Tierra, asimismo que de las placas tectónicas.</p>	Física, Geofísica,
Neotectónica	Estructuras geológicas	Los procesos tectónicos	<p>La Neotectónica es una subdisciplina de la tectónica, dedicada al estudio de los movimientos y deformaciones de la corteza terrestre (procesos geológicos y geomorfológicos) actuales o recientes en el tiempo geológico. El término también puede referirse a las movimientos/deformaciones en cuestión en sí mismos. Los geólogos se refieren al calendario correspondiente, como el período de neotectónico y al anterior como el período palaeotectónico.</p>	
Geotecnia	Suelo	Comportamiento mecánico	<p>La geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales -como las rocas y los suelos- que constituyen la corteza terrestre, implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil, como autopistas, vías férreas, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades habitacionales, rellenos y edificios en general..</p>	Física, Matemática, Ingeniería Civil, Geología, Topografía, Hidrogeología
Mecánica de rocas	Roca	Comportamiento mecánico	<p>Es la ciencia teórica y aplicada al comportamiento mecánico de rocas y de macizos rocosos. Tal como en geología, es la rama de</p>	Física, Matemática, Ingeniería Civil, Geología, Topografía, Hidrogeología

			la mecánica concerniente a la respuesta de estos entes litológicos a los campos de fuerzas de su ambiente físico. La mecánica de rocas forma parte de la geomecánica, disciplina relativa a las respuestas mecánicas de todos los materiales geológicos, incluidos los suelos	
Geotermia	Sitios termales	fuentes de calor	La geotermia es una rama de la ciencia geofísica que se dedica al estudio de las condiciones térmicas de la Tierra. La palabra es de origen griego, deriva de "geos" que quiere decir tierra, y de "thermos" que significa calor: el calor de la tierra. Se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica o calor útil para el ser humano.	Física, Vulcanología, Geofísica, Geoquímica,
Yacimientos minerales	El yacimiento mineral. Recursos minerales.	Génesis de menas Exploración de menas Extracción de menas	Rama de la geología que estudia la génesis, ubicación, extracción y procesamiento de los recursos minerales. Exploración de menas Extracción de menas	Petrología Geoquímica Geología estructural Mineralogía Economía Ingeniería civil

Al analizar el anterior cuerpo disciplinar de la Geología, se entiende que el ejercicio de esta ciencia es integradora, teórica y práctica. Su integración se basa en que la comprensión de la geología de una región es un constructo de información desde todas las disciplinas referidas.

Luego la práctica en donde se construyen mapas litológicos, geológicos, columnas litológicas, estratigráficas, cronoestratigráficas, perfiles, entre otros, a partir de la información recabada en el campo, con el fin de representar gráficamente una determinada hipótesis geológica para una región. Estos elementos pictóricos sirven para base de estudios de minería, petróleo, amenazas naturales, gestión del territorio, aguas subterráneas, turismo geológico, red vial, energía, entre muchos otros.

Otras disciplinas emergentes de la Geología son: la Geología Forense cuyo objeto de estudio son las evidencias de naturaleza geológica para dilucidar crímenes, la Geología Marina tiene una fuerte conexión con Oceanografía y Tectónica y se ocupa del estudio de los procesos geológicos que afectan el fondo marino; la

Geología Planetaria que ocupa el conocimiento de la estructura, materiales y procesos geológicos del planeta Tierra en el estudio de los cuerpos celestes rocosos.

Síntesis

Desde la antigüedad, el ser humano a partir de su percepción ha intentado explicar el origen de su existencia así como de todo aquello que lo rodea y los fenómenos que observaba. Los antiguos filósofos griegos iniciaron un proceso de racionalización del entendimiento de sus observaciones sobre el planeta Tierra que los llevaron a establecer las primeras ideas que actualmente concebimos como de carácter geológico. Seguidamente, a partir del siglo XVI empezaron a surgir enunciados de las primeras hipótesis geológicas que más adelante, algunas de ellas, serían admitidas para constituirse luego en pilares disciplinares de la Geología. Durante el siglo XVIII y sobretudo el XIX, es que la Geología moderna se constituye, gracias también, al desarrollo de otras ciencias como la Química, la Biología y la Física, acompañado de los avances tecnológicos.

Así las cosas, surgió una ciencia que estudia el planeta Tierra desde sus múltiples componentes a diferentes escalas temporales y espaciales, quizás *sui generis* en su método ya que en la debilidad experimental se encuentra su fortaleza de poder manejar múltiples hipótesis, que analiza y evalúa, gracias a la observación y aprendizaje continuo, a través de un proceso inductivo y deductivo, de avance y retroceso que le permite escoger los enunciados más plausibles en función de la información con la que cuenta para generar verdades posibles. Su máximo objetivo, establecer leyes. En este proceso, la Tectónica de Placas es uno de sus más grandes logros y paradigma fundamental, aunque todavía queda mucho por comprobar y entender para validar muchos de los postulados de esta teoría.

REFERENCIAS

ALSINA CALVÉS, J., 2013: Nicolas Steno y la primera generación de conceptos geológicos.- La Razón Histórica, (21): 41-68.

BORISONIK, H.G., 2011: Ergón y areté en la filosofía política de Aristóteles.- Problemata: R. Intern. Fil. 02(02): 99-114.

CASTAÑO FERNÁNDEZ, S., 1987: Concepto y desarrollo de la Geología.- Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete (1): 197-208.

CASTAÑO FERNÁNDEZ, S., BLANCO MAYOR, C., 1992: Sobre el método y la técnica en las ciencias geológicas.- Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete, 7: 233-246.

CERRÓN ROJAS, W. J., 2014: Conocimiento y matrices epistémicas.- Horizonte de la Ciencia 4(6): 87-90.

CENTRO DE EVALUACIÓN ACADÉMICA (CEA), 2015: Diseño curricular universitario: orientación para los procesos de diseño curricular. Vicerrectoría de Docencia, Centro de Evaluación Académica, Universidad de Costa Rica. pp. 13.

COLLO, G., 2003: La inducción como método científico para establecer la génesis de la illita en rocas de bajo grado de metamorfismo.- En: Godoy, L.A. (ed.): Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología, Vol I. Editorial Universitas, Córdoba. pp. 53-64.

CORRETGÉ, G., 2000: En las entrañas del post-modernismo: las crisis de las ciencias geológicas.- Enseñanza de las Ciencias de la Tierra 8(2): 119-129.

CLELAND, 2001: Historical science, experimental science, and the scientific method.- Geology 29(11): 987-990.

GARCÍA, R., 2006: Epistemología y Teoría del Conocimiento.- Salud Colectiva, 2(2): 113-122.

PEDRINACI, E., 1993: La construcción histórica del concepto de Tiempo Geológico.- Enseñanza de las Ciencias, 11(3): 315-323.

PEDRINACI., E., BERJILLOS , P., 1994: El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria.- Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 2 (1): 240-251.

PEDRINACI, E., 2001: Los procesos geológicos internos. Editorial Síntesis, 222 pp.

PELAYO, F., 1996: Teorías de la tierra y sistemas geológicos: un largo debate en la historia de la geología.- Asclepio: Revista de historia de la medicina y de la ciencia, 48(2): 21-52.

ROCA-BALASCH, 2013: Ciencias de la conducta: objeto material y objeto formal.- Conductual, 1(1): 4-15.

SOLE SABARIS, L., 1984: Nuevas orientaciones epistemológicas en la historia de la geología española, particularmente la geomorfología. -Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 1: 10-25.

MANRIQUE BONILLA, J., 2009: Análisis Epistemológico de la “Teoría de la Tierra” de James Hutton (1785).- GEOLOGÍA COLOMBIANA, (34): 57-65.

MONTIEL VALENTINI, A., 2012: Apuntes para Teoría del Conocimiento y Epistemología. Instituto Normal de Enseñanza Técnica (I.N.E.T.), 28 pp.

MURPHY, M. A. and A. SALVADOR, (Eds.), 1999: International stratigraphic guide_an abridged edition. Episodes, (22): 255-271.

GUZMÁN DÍAZ, R., 2005: La Teoría del Conocimiento como Ciencia Empírica: Piaget y Rosenlueth.- Elementos: ciencia y cultura, julio-septiembre, 12(59): 5-13.