

00364 29



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

FILOSOFIA DE LA GEOLOGIA

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
(GEOLOGIA)**

P R E S E N T A

ENRIQUE RIVERA CARRANCO

MEXICO, D.F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**FILOSOFIA DE LA GEOLOGIA
REFLEXIONES SOBRE SU FUNDAMENTO TEÓRICO. METODOLOGIA Y
CONCLUSIONES**

TABLA DE CONTENIDO

	página
1. Introducción	2
1.1 Objetivo	3
1.2 Antecedentes y justificación	3
2. Método y material	5
3. Análisis de la práctica geológica	6
3.1 La Geología como ciencia	6
3.1.1 El objeto de estudio de la Geología	8
3.2 Cómo se da el conocimiento en Geología	10
3.2.1 Observación	12
3.2.2 La experimentación	14
3.3 De los datos obtenidos a las construcciones teóricas	15
3.3.1 En busca de generalizaciones	15
3.3.2 La construcción del cuerpo teórico en Geología	21
3.3.2.1 Analogías	22
3.3.2.2 Teorías	27
3.3.2.3 ¿Es posible hacer predicciones en Geología?	30
3.3.3 ¿Cómo saber si una generalización o teoría es verdadera? La certidumbre en Geología.	34
3.4 El soporte teórico previo con que trabaja el geólogo	37
3.5 La transmisión del conocimiento geológico	52
3.5.1 El vocabulario y los conceptos	53
3.5.2 Las clasificaciones	57
4. Conclusiones	64
5. Referencias bibliográficas	68

FILOSOFIA DE LA GEOLOGIA

REFLEXIONES SOBRE SU FUNDAMENTO TEÓRICO. METODOLOGIA Y CONCLUSIONES

1. INTRODUCCION

Desde tiempos inmemoriales, el hombre ha tratado de comprender cómo actúa la naturaleza y el medio ambiente en que vive. Las primeras explicaciones para comprender los mecanismos de la naturaleza fueron de tipo mágico. Sin embargo, poco a poco el ser humano comenzó a observar las relaciones entre las fuerzas naturales, principalmente aquellas que afectaban su supervivencia, como los ciclos de lluvia, relacionados a los tiempos de siembra y cosecha. Fue así como a lo largo del tiempo, y de generación en generación, se fue formando un saber práctico que consecuentemente elaborado dio lugar al estudio sistemático de esas fuerzas, originando las ciencias naturales.

De entre esas ciencias se tiene a la Geología, que trata de los fenómenos de la naturaleza relacionados al gran "Sistema Tierra". Uno de los aspectos importantes del estudio de estos fenómenos es que requiere de un análisis e interpretación de una escala espacial y temporal tan grande que sobrepasa en mucho la capacidad de la vida humana. Es por eso que la Geología se ha desarrollado con base en especulaciones, interpretaciones y suposiciones sobre los elementos fragmentarios de eventos ocurridos en el pasado, sustentados por la suposición de que los fenómenos que ocurren hoy debieron haber sucedido de la misma manera en el pasado.

Por eso la Geología se ha mantenido en general alejada de las posibilidades de reflexión que han estado abiertas para el resto de las ciencias de la naturaleza que son más directas, ya que los fenómenos que tratan esas ciencias no requieren de tanta interpretación o análisis, y son más susceptibles de experimentación, como es el caso de la Química o la Biología. En consecuencia, la reflexión sobre la ciencia de la

Geología en general, ha sido muy poco elaborada, aún en tiempos modernos, cuando se está produciéndose una considerable actividad en el campo de la Filosofía de la Ciencia. Esta situación es todavía más acentuada en el caso de México, donde no existe, de hecho, un solo trabajo que aborde esta temática, es por eso que se ha considerado necesario desarrollar este trabajo de reflexión sobre la Geología.

1.1 Objetivo

Este trabajo está dirigido a los geólogos y no pretende ser un trabajo filosófico exhaustivo; tiene por objetivo principal hacer una reflexión sistemática del trabajo geológico, tratar de exponer cómo se lleva a cabo el desarrollo de la investigación geológica, su campo de estudio, la observación y experimentación, junto con los marcos teóricos que integran el armazón de esta ciencia.

Otros de los objetivos secundarios para la realización de este trabajo son, despertar la inquietud por la reflexión filosófica de la Geología y en general por las ciencias de la Tierra, no solo para tener conceptos más precisos y una metodología más efectiva en el trabajo geológico, sino para comprender mejor la misma Geología, reflexionar cómo es el conocimiento que se da en esta disciplina, y hacer consciente el hecho de que la Geología como ciencia no está completamente acabada y de que el geólogo requiere mayor sentido crítico para la realización de su trabajo.

1.2 Antecedentes y justificación

La Geología siempre ha estado subordinada a la extracción de recursos naturales, en realidad se han hecho pocos trabajos que traten de la "Filosofía de la Geología" todos son dispersos y tratan temas muy variados y particulares, tal vez en nuestro medio el más conocido es el editado por Albritton (1963), titulado originalmente como *The Fabric of Geology* y traducido al español como *Filosofía de la Geología*, en donde varios autores tratan sobre muy diversos aspectos de la Geología.

Otra obra importante es la de Harrington (1955); *Geología entre Bambalinas*, donde se reflexionan algunos principios de la Geología, lo mismo que la obra Cloud (1970), *Ordering principles in earth history*.

En cuanto a metodología, la obra más famosa es la de Chamberlin, editada dos veces (1897 y 1931), y que explica el "método de hipótesis múltiples de trabajo", que es en realidad una extensión del método escolástico de argumentación (sin reconocerlo explícitamente). Por último cabe mencionar el aporte de Wadell (1938), que aborda los problemas de la nomenclatura en la Geología.

Enfocándose al caso de México, no se ha hecho en absoluto una reflexión sobre el trabajo geológico ya que siempre en nuestro país ha habido cierto atraso en el desarrollo de la Geología.

Sin embargo, si miramos hacia el pasado, no siempre fue así, en el siglo XVIII, México se encontraba entre los primeros lugares en la enseñanza de las ciencias de la Tierra, con la creación del Real Seminario de Minería, dirigido por Fausto de Elhúyar y Zubice, quien junto con su hermano Juan José descubrieron el tungsteno. En este seminario Andrés Manuel del Río dictó, por primera vez en América, la cátedra de mineralogía en 1801, por ese entonces el Real Seminario era una escuela que pudo haber competido con cualquiera de las de Europa.

Desafortunadamente con las guerras de independencia muchos de los españoles que trabajaban en el Real Seminario fueron expulsados y regresados a España. Tiempo después, con las crisis políticas y sociales habidas a lo largo de todo el siglo XIX, muy poco se avanzó en el conocimiento geológico mexicano, llegando a la franca decadencia de la Escuela de Minería.

Fue hasta 1888, con el gobierno de Porfirio Díaz cuando se formó el Instituto Geológico Nacional, a partir de entonces se reinició en forma incipiente la investigación geológica. Durante el primer tercio del siglo actual llegaron a México algunos investigadores extranjeros, entre los cuales destacan Emilio Böse y Carlos Burckhardt, quienes desarrollaron investigaciones relacionadas a la prospección petrolera, que luego sirvieron de base para el estudio geológico de nuestro país.

Tiempo después, otros investigadores extranjeros como Rafael Imlay, Carlos Fries y Federico Müllerried, realizaron un importante trabajo geológico en nuestro suelo, dirigido a la explotación de recursos minerales, este trabajo tiene aún hoy en día gran importancia pues ha servido como marco de referencia a trabajos posteriores.

En el presente la formación de geólogos tiene orientación hacia la ingeniería, dirigida a la explotación de petróleo, agua y minerales, así

como auxiliar en las obras de la ingeniería civil. Actualmente en México existen varios organismos que se encargan de la investigación y difusión de la Geología, entre los más importantes se tiene al Instituto de Geología de la UNAM, al Instituto Mexicano del Petróleo, a la Sociedad Geológica Mexicana, etc. Desafortunadamente un restringido número de instituciones tiene esa tarea y solo algunos pocos egresados se interesan por la investigación.

Sin embargo, poco a poco se está elaborando una geología realmente mexicana, que es aún muy dependiente e influenciada de la geología que se desarrolla en E.U. o en Francia, por ello se adoptan muchas teorías y modelos extranjeros, que se reciben sin ninguna apreciación crítica y se asumen como modas nuevas o "dogmas de fe".

La Geología en nuestro país lentamente va descubriendo las características de nuestro territorio, pero aún faltan muchas zonas por explorar como la Sierra Madre Occidental o los Estados de Guerrero y Chiapas.

Después de esbozar cómo ha sido el desarrollo geológico en México, se hace notar que es necesario hacer conciencia entre los geólogos sobre la importancia de su trabajo, la validez del método que se emplea y las conclusiones a que se llega en Geología, ya que es común que siempre se acepte todo como verdadero y absoluto, sin una postura crítica al respecto.

2. METODO Y MATERIAL

En la elaboración de este trabajo se trató de reflexionar sobre el método de trabajo en Geología, desde la obtención de datos a partir de la realidad, la formulación de generalizaciones, hasta la formación de teorías. Tomando en cuenta los conceptos previos con que llega el geólogo a la investigación, como son el tiempo geológico, la correlación y las teorías que sirven de marco de referencia global para hacer la investigación (paradigmas).

Para ello se tomaron como ejemplos los trabajos geológicos clásicos, con el fin de ilustrar las virtudes y defectos que ocurren en la investigación y durante el desarrollo del trabajo, tratando de reflexionarlos a la luz de los aportes de la filosofía de la ciencia.

Además, se recurrió a la recopilación de todo el material bibliográfico que se ha ocupado sobre el tema. Es importante observar, que en realidad han habido pocos trabajos que traten sobre este terreno de manera extensiva, pues ninguno de ellos busca agotar el tema, siendo un campo hasta, ahora muy poco explotado.

3. ANALISIS DE LA PRACTICA GEOLOGICA

¿Cómo se da el conocimiento en Geología?, ¿qué método de investigación es el correcto para tener un conocimiento verdaderamente objetivo?, ¿qué es lo que se necesita para tener una comprensión real de un suceso de la naturaleza?

Estas preguntas raramente se las hace un geólogo en su trabajo de campo, es por eso que deben tomarse en consideración para su actividad pues cada ciencia tiene su propio objeto de estudio, método formal, reglas propias, fronteras con otras ciencias y su forma peculiar de plantear sus cuestiones particulares en la reflexión y en la investigación.

3.1 La Geología como ciencia.

Desde que apareció el hombre sobre la Tierra, tuvo que buscar la forma de sobrevivir, para eso utilizó los materiales que tenía a la mano como herramientas: lo primero que estuvo a su alcance fueron las rocas, así fue como se inició la tecnología, primero en el paleolítico con herramientas hechas de rocas burdas y mal talladas, luego con artefactos pulidos de mayor sofisticación en el neolítico.

Tiempo después, al ser descubiertos los metales se da inicio a la minería y la metalurgia.

Por otra parte al aparecer y desarrollarse la agricultura, el hombre empieza a observar los suelos, los ciclos de lluvias, busca la forma de utilizar ríos, pozos y manantiales para obtener mejores cosechas, es cuando aparecen los grandes imperios agrarios como Sumer, Egipto y las grandes culturas de Mesoamérica.

Aunque el hombre utiliza los recursos que brinda generosamente la tierra, se siente impotente muchas veces ante la magnitud de los fenómenos que observa en su medio ambiente: inundaciones, volcanes, terremotos,... y empieza a buscar el por qué de esos fenómenos y cómo puede evitarlos, predecirlos o controlarlos.

Para la época de la Grecia clásica, Xenofonte y Aristóteles suponían que los fenómenos que ocurrían en el mundo (kovsmo") se debían a los caprichos de los dioses. Ellos suponían que el mundo era pequeño, encerrado y limitado por la bóveda celeste.

Ptolomeo concibe que la Tierra se encuentra en el centro del mundo y que alrededor de ella giran los demás astros, engarzados a la superficie de varias esferas celestes de cristal.

Cuando se generaliza el monoteísmo, se percibe al mundo con una armonía propia, Dios que lo gobierna todo, es como un artesano que mantiene funcionando el cosmos, por lo tanto, existe un orden en la naturaleza y las cosas, el hombre con su intelecto puede leer ese orden, el universo se convierte en inteligible, ordenado y lógico (cf. Whitehead, 1925), vivimos en un universo que puede conocerse y comprenderse.

Copérnico descubrirá más tarde que la Tierra gira al rededor del sol, junto con la demás corte de planetas. Poco a poco, se va aceptando la realidad de que la Tierra es solo un cuerpo más en la inmensidad de un universo plagado de astros.(cf. Koiré, 1992).

Al ir cambiando la concepción del mundo, fue apareciendo paulatinamente la Geología como ciencia, primero mediante la observación directa de los fenómenos, sin ninguna sistematización, luego poco a poco se da inicio a su estudio ordenado, con la descripción de algunas estructuras geológicas de pequeña escala (fósiles, septarias, rocas con formas caprichosas,...), como cosas curiosas de la naturaleza, buscando su origen, a veces con explicaciones fantásticas, otras infiriendo la verdad, como el reconocimiento de los fósiles como de origen orgánico hacia el siglo XVI.

Para el siglo XVII, ya habían aparecido los principios fundamentales de la Geología, entre los cuales se tienen los enunciados de Nicolás Steno propuestos en 1669 y que son los cimientos de la Geología actual.

Durante los siglos XVII y XVIII, y aún bien entrado el XIX, muchas explicaciones que se daban a los fenómenos de la Tierra eran por eventos

catastróficos tales como diluvios, que repentinamente modificaban las condiciones superficiales y que encontraban fundamento en los relatos bíblicos (cf. Von Zittel, 1901).

Con la revolución industrial, aumenta el interés por la Geología, principalmente en la prospección del carbón, que impulsará la primera maquinaria, aparece la tecnología del hierro y se descubren otros metales antes insospechados como el aluminio o materiales como el asbesto.

Desde fines del s.XVIII, en 1795, ya J. Hutton había propuesto el principio más importante en el estudio de la Tierra: el Uniformitarismo, que subsecuentemente elaborado, permitió el desarrollo de la Geología como ciencia hasta nuestros días, con todas sus implicaciones tecnológicas.

Sin embargo, a pesar del avance en el conocimiento de la Tierra, el hombre continúa sorprendido, e impresionado ante la magnitud de los fenómenos que operan en la naturaleza: los terremotos, los volcanes, las avalanchas, las inundaciones,... Aún en el presente la humanidad desconoce con seguridad el origen del Sistema Solar en que vive, no puede controlar ni predecir los terremotos o el vulcanismo y se pregunta ¿cómo se originan estos fenómenos?, ¿cómo actúan?, ¿se podrán evitar?, ¿tendrán alguna finalidad?.

Por otra parte, la humanidad misma se encuentra ante una grave crisis por falta de recursos naturales, pues muchos ya son escasos. A esto la Geología tendrá que dar respuesta para el control de la explotación de esos recursos, la ubicación de los desechos y como evitar continúe la contaminación y destrucción de la Tierra.

3.1.1 El objeto de estudio de la Geología

La Geología se puede definir como la ciencia que se encarga del estudio del origen, composición, estructura y evolución del Sistema Tierra. A primera vista parece sencillo, sin embargo es un campo bastante extenso y complicado que incluye:

- Minerales
- Rocas
- Cuerpos de roca
- Terrenos tectono-estratigráficos

- Placas tectónicas
- Estructura y evolución de la Tierra
- Estudio del registro fósil
- El sistema solar
- El universo
- Los recursos naturales

Algunos de estos aspectos pueden ser estudiados observando el proceso en forma directa, como las rocas volcánicas, en que es posible en algunas veces, ver el evento de formación, ya que son fenómenos de pequeña magnitud y de poca duración.

En cambio existen otros fenómenos que tienen una duración más prolongada y afectan elementos espaciales de gran tamaño, como es la evolución de un continente, del cual sólo se tienen indicios parciales del evento mayor y del cual ni una vida humana, ni la humanidad completa, alcanzarían a ver en su totalidad. Este tipo de fenómenos requieren la colección de datos aislados, de tipo puntuales que una vez relacionados se puedan hacer inferencias que ayuden a comprender la complejidad del fenómeno particular en cuestión.

De esta forma, el geólogo puede conocer y comprender a profundidad sólo algunos aspectos de la Tierra, sobre todo los que son de poca duración y de magnitud, que a escala humana puedan percibirse, no así los que tienen mayor duración y tamaño. Es por eso que el campo de estudio del geólogo es extremadamente amplio y complejo, ya que va de lo submicroscópico a lo planetario; desde la estructura cristalina de los minerales a la estructura planetaria de la Tierra (Harner, 1970, p.299).

Con estas características del objeto de estudio, el geólogo tendrá que ensamblar dato por dato hasta construir un gran rompecabezas global y aproximado de lo que nuestra Tierra es. Como se puede ver, la tarea geológica es bastante compleja y no puede ser comparada con otras ciencias, como la química o la física, en que se tratan fenómenos accesibles a la escala humana, en cuanto a tiempo y dimensiones.

Por sus características, es posible que la Geología esté más próxima en su método a la Astronomía, en el sentido de que esta ciencia emplea datos puntuales que luego ensambla para estructurar su conocimiento, o bien a la Biología evolucionista, en la cual los datos obtenidos sirven para hacer reconstrucciones, más o menos confiables, de los linajes de los organismos.

En fin, el campo de estudio de la Geología es extremadamente amplio y complejo dado su objeto de estudio, estas características influyen en la forma de cómo se sistematiza su investigación y conocimiento.

Por otra parte también compete al campo de la Geología la evaluación y explotación de recursos naturales: aguas superficiales y subterráneas, depósitos minerales, tanto metálicos como no metálicos, yacimientos de petróleo y gas, además del estudio sobre su aprovechamiento y el impacto que el hombre ha causado en el medio ambiente por su explotación irracional, originando el agotamiento definitivo de muchos de estos recursos.

3.2 Cómo se da el conocimiento en Geología

El estudio de la Geología se inicia con la observación directa de la dinámica cotidiana de nuestro planeta. El geólogo lo único que puede observar de esa dinámica son los fenómenos que acontecen en la superficie de la corteza terrestre, ya que hasta ahora, nadie ha podido atravesarla. Por lo que se desconoce cómo están los materiales en su base y qué hay debajo de ella. De esta forma, el campo de estudio "directo" del geólogo está restringido únicamente a la superficie de la corteza terrestre, que equivale a menos del 1% del total de toda la masa de la Tierra. Para conocer lo que hay debajo de esa corteza, el geólogo lo infiere por métodos geofísicos o por deducciones teóricas.

Entonces, la labor del geólogo será primero observar los fenómenos en el ámbito de la corteza y registrarlos cuidadosamente. Muchos de estos fenómenos, como se había dicho antes, son de escala espacial y temporal muy grande, por lo que será muy difícil reproducirlos en forma experimental. Por ejemplo es imposible reproducir en un laboratorio la dinámica de un glaciar, o cómo se mueve una placa tectónica.

Sin embargo hay otro tipo de fenómenos que más o menos pueden ser reproducidos a nivel experimental controlando las variables, más adelante se hablarán de los campos donde ha habido más experimentación.

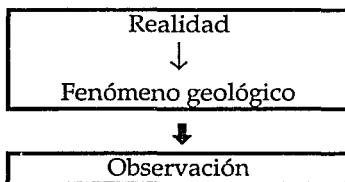
De este modo, en la Geología existen dos formas de llegar al conocimiento:

a) A través de la parte observacional-experimental, que es por medio de la observación directa de los fenómenos en la naturaleza, y en menor grado, por experimentación, reproduciendo por analogía los eventos.

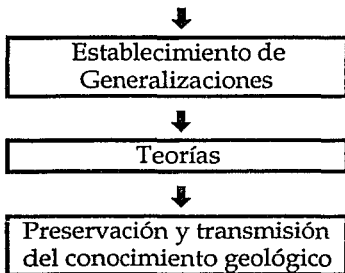
b) La otra es la forma teórico-interpretativa, consiste en que a partir de los datos obtenidos por observación y experimentación se empezará a construir la estructura lógica del conocimiento geológico.

Para una mejor comprensión del método empleado en Geología se presenta el siguiente esquema:

PARTE OBSERVACIONAL- EXPERIMENTAL



PARTE TEORICO-INTERPRETATIVA



3.2.1 Observación

Se podría pensar que la observación en Geología es realmente objetiva, pero no es así. Cualquier persona al observar cualquier objeto inmediatamente trata de relacionar ese objeto con su conocimiento previo, del mismo modo cuando el geólogo llega a un afloramiento cualquiera, ya trae consigo un conocimiento previo, que determinará en parte la interpretación de los datos tomados del campo. Así por ejemplo, si el geólogo desconoce de qué estructura litológica se trata, la referirá a alguna otra que ya conozca y se le parezca.

Por eso no es posible suponer que se puede conocer la realidad en forma directa, tal cual es, como una colección de hechos, ya que cada individuo organiza sus datos según su experiencia e intereses particulares. Esto es muy claro sobre todo cuando, por ejemplo, dos geólogos salen al campo, cada uno interpreta de distinta forma los mismos fenómenos, incluso a veces no hay acuerdo en el color de una roca, o de qué estructura se trata.

Al seleccionar los datos, la muestra a coleccionar y el mismo plan de trabajo, todo dependerá en mucho de la subjetividad del individuo y de las cuestiones que considere provechosas para la investigación. Las "observaciones" son siempre abstracciones de nuestra experiencia total y son expresadas en función de estructuras conceptuales, además de que "todos los datos ya están cargados de teoría" (Barbour, 1971, p. 171). De este modo algún geólogo "verá" gran cantidad de fallas, otro encontrará importancia al hallazgo de fósiles, otro "verá" estructuras singenéticas de depósito,... todo estará dependiendo de lo que considere el geólogo como importante para la investigación y de lo que haya aprendido por experiencia antes de salir al campo.

Los factores que afectan la forma de obtención de datos pueden ser:

- a) De carácter psicológico, esto es, sobre el valor que le asigna el sujeto a la concordancia de los hechos, haciendo influir en la elección de las de las hipótesis que maneje y en el material a coleccionar.
- b) El soporte cultural del individuo sobre el mismo conocimiento, que haya compatibilidad con alguna concepción del mundo, con el marco de referencia teórico en boga y en particular con el *zeitgeist* prevaleciente. Por ejemplo hace poco al extenderse la teoría de tectónica de placas, todo mundo empezó a ubicar todo el conocimiento

geológico de acuerdo a esa teoría, lo mismo los datos de campo que los de gabinete, así como todas las publicaciones se enmarcaron en la tectónica de placas.

Por otra parte, al salir al campo el geólogo no sale en seco a "ver qué ve", va con una hipótesis ya esbozada, que ha ido formando de la compilación de datos del trabajo previo hecho por otros geólogos en la misma área que va a estudiar. Esta hipótesis de trabajo le permitirá orientar su actividad hacia el objetivo que se haya propuesto.

Es evidente que tendemos a asignar mayor peso a aquellas hipótesis que congenian más con nuestro fondo cultural y en particular con nuestra visión del mundo (cf. Bunge, 1975, p.60). A esto Leopold y Langbein (1970) le llaman "asociación", ya que una persona asocia el objeto de estudio a su carga cultural previa. Es obvio que no se pueden asociar los objetos de estudio observados a conceptos que no se conocen.

Lo anterior parecería desembocar a un subjetivismo pleno, sin embargo no sucede así, lo que existe en realidad es una dinámica entre el objeto y el sujeto. De hecho no hay una objetividad absoluta como tampoco existe una subjetividad total. Sin embargo con el fin de minimizar el elemento subjetivo, que pueda colarse en las investigaciones, es importante estar consciente de que todo conocimiento científico no es pura y totalmente objetivo.

Muchos geólogos suponen que todo lo que se observa en el campo por medio de los sentidos es de absoluta confianza, sin embargo se olvida que la información que proporcionan los sentidos no tiene por objeto dar a conocer la naturaleza en sí y totalmente de la realidad, sino proporcionar la información básica que permita al hombre subsistir o existir como ser en el mundo. La información que dan los sentidos al ser humano, es cualitativamente semejante a la que reciben otros mamíferos y otros vertebrados, pero dista mucho de ser completa y suficiente desde el punto de vista científico, por ejemplo, el sentido más desarrollado; la visión, solo permite captar información de una pequeña parte del espectro electromagnético: el visible. De hecho, algunos grandes descubrimientos científicos se han logrado contrariando las observaciones de nuestros sentidos y las explicaciones de la lógica que se deriva de ellos, por ejemplo, que la Tierra no es plana, que se mueve, que las especies evolucionan, que las placas litosféricas se desplazan, que no hay "tierra firme", que existen microbios,...

En cuanto a la creatividad del cómo acercarse al conocimiento, no hay regla; cuando se hace un descubrimiento siempre contiene un elemento irracional o una intuición creadora en el sentido de Bergson (Popper, 1980).

3.2.2 La experimentación

En cuanto a la experimentación, esta dependerá de la especialidad de la Geología que se trate. La experimentación se lleva a cabo, generalmente, en fenómenos que implican procesos a escala humana en cuanto a espacio y tiempo. No se podrá experimentar haciendo un modelo del plegamiento de una gran cordillera o de la apertura del fondo oceánico, en que intervienen tantas variables, que serían imposibles de controlar, además de que muchas de ellas son desconocidas, como lo implica la magnitud misma de los fenómenos. A esto se suma el hecho de que muchos de los eventos a estudiar se formaron en un pasado distante y a una velocidad tan lenta, que es imposible de apreciar para la vida de un ser humano, pues se llevan a cabo a lo largo de miles o millones de años.

A continuación se citan algunos ejemplos ya conocidos, donde se ha elaborado experimentación:

>Rocas ígneas:

Se han hecho experiencias fundiendo minerales para determinar sus temperaturas de fusión y cristalización. El trabajo más conocido e importante en éste aspecto es el ya clásico de Bowen (1928), quien descubrió las series de reacción de los minerales en rocas ígneas que llevan su nombre y que es un concepto fundamental en el estudio de estas rocas.

>Rocas sedimentarias:

Se han efectuado experimentos sobre todo con evaporitas: dejando evaporar aguas marinas en recipientes y comparando los precipitados con cuencas y secuencias evaporíticas.

También se han hecho modelos a escala con el fin de observar el movimiento de sedimentos sin consolidar en aguas que fluyen. Las condiciones naturales pueden ser duplicadas en maquetas simulando mares, o imitando corrientes.

>Tectónica:

Griggs en 1939 elaboró un modelo para simular las corrientes de convección en el interior de la Tierra, por medio de materiales plásticos, modelo que aún es aceptado para explicar la dinámica de las placas de la corteza terrestre, aunque originalmente trataba de explicar el porqué de los plegamientos en geosinclinales.

>Explotación de recursos:

También, se hacen simulaciones en computadoras con ecuaciones numéricas, que tratan de esquematizar los procesos, utilizando modelos matemáticos para la extracción de aguas subterráneas, en la explotación de petróleo y gas, para explicar las corrientes de convección del manto, en la historia térmica del planeta, etc. (cf. Press y Siever, 1974, p.86-93).

Estos son sólo algunos ejemplos de experimentación, en la actualidad no es muy buscado el experimento, sino más bien la observación del fenómeno real.

3.3 De los datos obtenidos a las construcciones teóricas.

Pues bien, una vez que el geólogo tiene ante sí todos los datos obtenidos por observación y experimentación, procede a darles consistencia lógica y a elaborar enunciados que los expliquen.

Muchas observaciones por sí mismas son ya conocimiento y no requieren demostración alguna, este es el conocimiento por experiencia. Pero la mayor parte del material colectado y datos tendrán que estructurarse en modelos lógicos que permitan dar una explicación. Esos modelos se confrontarán continuamente con la hipótesis básica de trabajo, que el geólogo irá modificando de acuerdo a los datos nuevos que obtenga.

3.3.1 En busca de generalizaciones.

Como se había dicho antes, mucho del conocimiento geológico se da por experiencia y no es necesario armar una demostración.

Por ejemplo, cuando se observa la corriente de algún río es posible observar que arrastra en su cauce gran cantidad de material detrítico: bloques, cantos, limos,... después de repetidas observaciones tanto del lecho como del material que carga, se puede llegar a la conclusión siguiente:

"Los efectos de transporte de material en un río, son de dos tipos: efectos sobre el lecho por donde se desplaza el fluido y efectos sobre los materiales de transporte". (cf. Mingarro y Ordoñez, 1982, p.306).

De esta forma es como se llegan a enunciar generalizaciones sobre los fenómenos observados. Otro ejemplo de generalización, a partir de la observación de hechos repetitivos, es el realizado por William Smith, quien encontró que en un sitio y a grandes distancias al rededor hay una "ley general" en la que los mismos estratos se encuentran siempre en el mismo orden de superposición y contienen los mismos fósiles particulares, Smith mismo comenta:

"The accurate surveys and examinations of the strata... have enabled me to prove that there is a great degree of regularity in the position and thickness of all these strata: and although considerable dislocations are found in collieries and mines, and some vacancies in the superficial courses of them, yet that the general order is preserved; and that each stratum is also possessed of properties peculiar to itself, has the same exterior characters and chemical qualities and the same extraneous or organized fossils throughout its course". (Hancock, 1977, p.3-4).

William Smith, no tenía conocimientos de Geología, era topógrafo, llegó simplemente a esta conclusión después de haber recorrido grandes distancias, recogió fósiles ordenadamente y observó las relaciones que guardaban entre sí los estratos que los contenían; así pudo diferenciar capa por capa y estrato por estrato. Además, Smith observó que los fósiles de organismos más complejos se encontraban en rocas que sobreyacían a las que contenían restos de organismos más simples. Tiempo después con esos datos, llegó a publicar el primer mapa geológico de Inglaterra, Gales y parte de Escocia en 1815. Las ideas que utilizó Smith ya habían sido propuestas antes por Roberto Hooke (1635-1703), Georg Christian Füchel (1722-1773), Jean Louis Giraud, Abad de Soulavie (1752-1813) y Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840) (cf. Robson, 1986), sin embargo Smith las desconocía, sólo por la observación directa de campo llegó a descubrirlas y a utilizarlas.

William Smith mapeó cada estrato y determinó sus fósiles característicos, proponiendo el principio de sucesión faunal y floral. Este principio expresa que, en zonas no afectadas por plegamiento o fallas, las faunas y floras fósiles se suceden unas a otras en un orden definido y en una progresión en complejidad de abajo hacia arriba, las especies de organismos más evolucionadas se encuentran en las rocas que sobreyacen a las que contienen las especies más simples y menos evolucionadas.

Así fue como los fósiles pudieron ser utilizados aún para distinguir estratos de distinta litología.

La obra de Smith se ha convertido desde entonces en la base de la bioestratigrafía. En la actualidad no hay quien dude de este principio que se aplica implícitamente al trabajo geológico y se lleva a cabo empleando el mismo método de Smith: se coleccionan los datos de campo con sus muestras de roca y fósiles. Cada fósil se identifica y confronta con otros ejemplares ya descritos y definidos, es entonces cuando se pueden hacer correlaciones. Casi nadie se pregunta el margen de falibilidad de la correlación y se da por aceptada.

Este método de observación de eventos repetitivos y el establecimiento de regularidad en ellos para enunciar una generalización legaliforme es lo que se ha llamado *inducción*.

Por medio de la inducción se van haciendo aproximaciones de la realidad hasta que los datos una vez organizados tienen consistencia y constancia en la repetición. Las aproximaciones a la realidad deben irse afinando a medida que se va obteniendo mayor información adicional. De esta forma, es posible ver que en la Geología, no se dará al final del desarrollo de la investigación un tipo de conocimiento semejante a las matemáticas o a la física, sino más bien se logrará un conocimiento más o menos completo que dependerá del grado de complejidad del fenómeno, y de la posibilidad de tener acceso a los datos que explican el fenómeno en cuestión.

La inducción como tal ha sido un tema muy controvertido, se dice que no es posible enunciar generalizaciones, pues cada evento en sí mismo es único, particular e irrepetible: una roca que viaja en la carga de un río arrastrada por la corriente sólo pasará por él en características que solo una vez pueden presentarse (cf. Hempel, 1979, p.75). Además muchas generalizaciones pueden dejar de contemplar casos particulares

que no se dan con frecuencia, como señala Popper (1980, p.27-28), y afirma:

"Disto de ser obvio que estemos justificados al inferir enunciados universales partiendo de enunciados singulares por elevado que sea el número, pues cualquier conclusión que saquemos de este modo resultará algún día falsa: así cualquiera que sea el número de ejemplares de cisnes blancos que hayamos observado, no está justificada la conclusión de que *todos* los cisnes sean blancos."

Y añade:

"El problema de la inducción puede formularse, así mismo, como la cuestión sobre cómo establecer la verdad de los enunciados universales basados en la experiencia -como son las hipótesis y los sistemas teóricos de las ciencias empíricas-, pues muchos creen que la verdad de estos enunciados *se sabe por experiencia*, sin embargo es claro que todo informe que da cuenta de una experiencia -o de una observación o del resultado de un experimento- no puede ser originalmente un enunciado universal, sino un enunciado singular."

La inducción entonces, según Popper, no puede aportar ninguna seguridad absoluta, sólo puede dar una certeza hipotética. El enunciado resultante de la inducción sirve de ayuda para presentar las inferencias de forma lógicamente aceptable. El principio de inducción tiene que ser un enunciado sintético; esto es, uno cuya negación no sea contradictoria, sino lógicamente posible.

La regularidad de un fenómeno implica poder explicarlo, muchas veces a estas explicaciones se les da carácter de "ley".

Esto lleva a reflexionar en el hecho de que muchas de las generalizaciones que se emplean como "leyes confiables" no son tan absolutas como pudiera parecer, pues es posible que aparezcan datos nuevos que podrían contradecirlos. Sin embargo, las leyes y generalizaciones son útiles en el sentido de que describen la regularidad en el flujo de los acontecimientos y pueden usarse para la predicción y la explicación. Veamos algunos ejemplos de generalizaciones obtenidos por inducción:

La estratificación gradada se origina por medios fluidos (muy viscosos) que se presentan *generalmente* en corrientes marinas muy arcillosas,... cuando este medio pierde su dinámica la carga se sedimenta, pero,..., no tienen tiempo de clasificarse los clastos y sólo abundan más cuantitativamente los mayores en la base del sedimento,... (Mingaró y Ordoñez, 1982, p.315)

Esta explicación sobre el origen de las turbiditas, muestra la expresión "generalmente", que señala que es posible que la estratificación gradada se presente en otros casos no contemplados por la explicación y que probablemente puedan ocurrir. Este tipo de generalizaciones le llaman *explicaciones probabilísticas*. (Hempel, 1973, p.99).

Kitts (1970, p. 72s) ya había hecho notar que muchas de las proposiciones geológicas son de este tipo, y se caracterizan por el hecho de que presentan a menudo las expresiones *probablemente, frecuentemente, tiende a*, o como en el ejemplo anterior *generalmente*. Esto quiere decir que la generalización sólo es válida para algunos casos donde se dan ciertas circunstancias y no para *todos* los casos.

Cuando en una explicación probabilística aumenta la frecuencia observada de fenómenos que la verifican se pueden establecer un enunciado probabilístico, que bajo ciertas condiciones producirá un cierto tipo de resultado en un porcentaje especificado de casos (Hempel, 1973, p.102), de esta manera el principio de Steno:

"Los sedimentos contenidos en el agua tienden a ser depositados en estratos casi horizontales y paralelos o casi paralelos a la superficie sobre la cual se acumulan."

puede considerarse un enunciado de forma probabilística, ya que para que se verifique es necesario que no haya casi pendiente, que los cuerpos sedimentarios no son "tablas" que se extienden indefinidamente con el mismo espesor para todos lados, sino que se acuñan en sus límites por la configuración de la paleocuenca de depósito. Esto es, que este enunciado puede ocurrir sólo frente a determinadas condiciones.

Cuando únicamente bajo determinadas condiciones y variables se da un fenómeno determinado, se puede identificar una *ley fenomenológica*. En este caso las generalizaciones que se enuncian tienen carácter universal siempre y cuando ocurran todas las variables específicas para que se de el fenómeno. Es por eso que muchos geólogos no aceptan definitivamente la palabra "ley". En realidad se puede ver que no existen "leyes" teóricas en Geología, como las de la física teórica, en las cuales el enunciado tiene un carácter "universal" (universal en el sentido en que *siempre* ocurren), mientras que las generalizaciones de la Geología están referidas a eventos determinados por varios factores *que pueden o no ocurrir*. Por eso es importante para todo geólogo reconocer y aprender las condiciones que han de acontecer para que suceda el fenómeno

determinado. Por otro lado, hay que resaltar que la meta del geólogo es la búsqueda de enunciados generales, sean universales o no, que sirvan para justificar las explicaciones a los fenómenos (Kitts, 1970, p.76).

Ahora queda el problema de cómo expresar las generalizaciones geológicas, ya que toda ciencia trata de expresar sus generalizaciones o leyes de manera que quede patente la veracidad de sus expresiones.

Wartofsky (1968, p 338s) manifiesta que las leyes en las ciencias pueden expresarse de diversas formas de acuerdo a los elementos que emplean, es así como distingue varios tipos de leyes:

a) Leyes "numéricas":

Enuncian relaciones invariables entre los números en cuanto a las relaciones formales del lenguaje matemático, por ejemplo:

"El cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma del cuadrado de los catetos".

b) Leyes "físicas":

Cuando los enunciados de observación son de medida, la forma de las leyes numéricas nos dará la forma de las leyes físicas, con la diferencia de que los numerales representan propiedades numéricas de magnitudes físicas, tales como la longitud, la carga, la masa, el peso, ...

"La fuerza es el producto de la masa por la aceleración"

c) Las leyes "biológicas":

Las explicaciones en estas ciencias son en el sentido de que expresan algo sobre las funciones que desempeñan las partes dentro de un sistema completo. Las explicaciones se apoyan en funciones que son *con vistas a* algún fin, que a su vez se relaciona con un fin más amplio, por ejemplo, ¿para qué sirve el corazón? o ¿por qué funciona así el páncreas?

d) Las leyes "históricas":

Describen procesos o secuencias de acontecimientos que dependen del tiempo, es decir, los sucesos o estados que la ley describe guardan la relación de un evento con respecto a otro, es decir, expresan las relaciones *anterior a* o *posterior a*. De esta forma, la ley es "asimétrica" o "direccional" con relación al tiempo. Estas leyes no plantean el problema no tanto cuanto a la forma en que

pueden expresarse, sino cuanto a las condiciones en que pueden ocurrir y dejar una consecuencia.

Las generalizaciones en Geología según esta óptica se ubicarían dentro del tipo de las "leyes históricas", determinadas por la relación causa-efecto de un proceso que se sucede en el transcurso del tiempo, por ejemplo, en la compactación de las arenas:

In the initial stages, compaction involves dewatering and closer packing of grains. Further compactation through overburden pressure results in local fracturing and bending of weak grains, and especial importance, the solution of grains at points of contact. (Tucker, 1985, p.55)

Esta explicación muestra la complejidad de la mayor parte de las generalizaciones en Geología. No se trata de una explicación estática del fenómeno, sino que muestra gran dinamismo. Este tipo de enunciados jamás se podrán expresar en modelos matemáticos.

A pesar de lo anterior algunos geólogos piensan que existe una tendencia a expresar las generalizaciones geológicas en formas matemáticas (*cf.* Mackin, 1970, p. 203-204), tal vez sea porque tienen aún la opinión de que si las leyes de una ciencia no se expresan en forma matemática no se trata de una ciencia madura.

Cabe decir para terminar, que las generalizaciones y explicaciones dan por resultado nuevas preguntas por responder, es así como se va ampliando el horizonte por explorar.

3.3.2. La construcción del cuerpo teórico de la Geología.

Con lo logrado por medio de generalizaciones es posible estructurar un conocimiento teórico que permita armonizar esas generalizaciones entre sí y tener una perspectiva más amplia de un fenómeno mayor en su globalidad..

Es aquí en donde se elaboran construcciones teóricas para dar una explicación global que incluya a todos los fenómenos particulares que ya fueron explicados previamente por medio de generalizaciones. Esto origina enunciados más generales que pueden dar explicación a esos fenómenos particulares. Por ejemplo, se ha elaborado una teorización -la tectónica de placas- para poder dar una explicación global a los datos paleontológicos, estratigráficos, paleoclimáticos y de la actividad de la

corteza de la tierra: terremotos, volcanes, desplazamientos de grandes bloques de terreno,...

La explicación global para los fenómenos, desde luego, tendrá tales características que impedirán su comprensión total, así como su manipulación experimental. Además, no solamente se elaborarán construcciones teóricas por lo dicho anteriormente, sino que también se estructurarán cuando es difícil el acceso al fenómeno, esto es, cuando no se puede "observar directamente" lo que sucede, como ¿qué es lo que pasa en el interior del manto de la Tierra?, o ¿cómo es el mecanismo de subducción de un margen continental?, ¿qué ocurrió en el Paleozoico?.

3.3.2.1 Las Analogías

Un camino para elaborar teorizaciones es comparando un fenómeno bien conocido, con otro desconocido que es el objeto de estudio, a esto se le llama analogía. Un ejemplo de este tipo de comparaciones es el principio del Uniformitarismo, según el cual el comportamiento de la materia y de la energía en el universo y en el sistema solar se han mantenido constantes a través del tiempo tal y como actualmente se observan. De haberse modificado habría un registro verificable.

Este concepto aplicado al sistema Tierra, tomará a la energía y materia de los procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos que se observan hoy en nuestro planeta, como que si siempre han ocurrido de la misma forma en el pasado. Por ejemplo; si en la actualidad se tiene una costa con playa arenosa, la dinámica que ahí ocurre, debe ocurrir también análogamente en otra playa arenosa de otro lugar o de otro tiempo, ya sea en el pasado o hacia el futuro, pues los agentes que intervienen en esa dinámica son en esencia los mismos.

Esta doctrina se ha resumido con el aforismo "*el presente es la llave del pasado* ": por comparación del presente se puede inferir el pasado lo mismo que el futuro. Este principio fue enunciado por James Hutton en el año de 1795 en su obra *Theory of the Earth*.

La analogía del presente como modelo con relación al pasado no es completamente cierta, el mismo Hutton no encuentra señales de un comienzo ni de una conclusión de la dinámica terrestre, pues se trataría de un ciclo que se sucedería ininterrumpidamente hasta el infinito, hacia el pasado y hacia el futuro.

Lord Kelvin (1864) rechazó totalmente al uniformitarismo ya que él partía de una analogía diferente: comparó la velocidad de enfriamiento de rocas fundidas con el tiempo en que debió enfriarse la Tierra, la cual debía de haber procedido de una masa ígnea que lentamente fue enfriándose hasta alcanzar la temperatura actual.

El uniformitarismo trajo como consecuencia aún más discusiones, quedando al fin establecido el principio de Hutton, como concepto básico de la Geología. Esto condujo a los geólogos inmediatamente a estudiar los fenómenos que ocurren en el presente para explicar lo que había sucedido en el pasado. Además permitió el rápido progreso de la Geología durante todo el siglo XIX, pues se vio bien pronto que en términos generales, era posible interpretar los acontecimientos pasados recurriendo a las causas que *hoy actúan*.

Especialmente resultó fructífero el Uniformitarismo cuando se aplicó a desentrañar el origen de las rocas sedimentarias y volcánicas, pues es ahí donde existe mayor oportunidad de observar hoy en día los procesos en plena actividad.

Sin embargo por los datos obtenidos, se demuestra lo contrario, el pasado no fue siempre como el presente, y más aún, si se trata del lejano Precámbrico o del Paleozoico. Hutton mismo había dicho que no podía encontrar vestigios *de un comienzo*, quiere decir que los ciclos que actúan hoy en día no han operado siempre desde el nacimiento de la Tierra. La teoría huttoniana se pierde en incongruencias mientras más nos remontemos al pasado y como dice Harrington (1955, p.85) su Geología (de Hutton), no se interesa en hipótesis cosmogónicas, se contenta con aceptar a la Tierra tal y cual es.

Actualmente se acepta que han sucedido los mismos procesos y mecanismos en toda la historia de la Tierra como hoy ocurren, lo único que los diferencia es la fuerza e intensidad con que se presentaron en el pasado. El Uniformitarismo tomado tal cual, es una posición extrema, es "un dogma indemostrable y no un principio científico" (Harrington, 1955). El Uniformitarismo no toma en cuenta otros factores como la evolución de la Tierra, de la atmósfera y la influencia de la biosfera, basta recordar las condiciones que se supone privaron en el Precámbrico para convencerse que ha habido un cambio total desde entonces al presente.

Como puede verse, de acuerdo a qué tan congruente con la realidad es la analogía tendrá o no trascendencia en la Geología, ya que fue más fácil de comprender el uniformitarismo que las ideas de Lord Kelvin.

El geólogo trabaja con analogías a manera de "hipótesis de trabajo", para eso busca modelos ya conocidos que sean adecuados al tipo de fenómenos a estudiar, en el caso del uniformitarismo el modelo es la actividad actual de los fenómenos geológicos. Es así como el geólogo busca encontrar analogías para explicar los accidentes del pasado de los cuales sólo tenemos las consecuencias.

De este modo, el investigador irá comparando paso a paso el fenómeno nuevo con los ya conocidos, empleándolos como modelos, descartará los que no cumplen con las características que va observando, hasta que quede aquel modelo que concuerde más a los datos de la realidad. Chamberlin (1897 y 1931) llamó a este método de *hipótesis múltiples de trabajo*., Hallam (1983, p.163) lo denomina *método hipotético-deductivo* pues el geólogo tiene que deducir qué hipótesis es más acorde con los datos o si es necesario elaborar otra diferente que los explique más satisfactoriamente.

Desafortunadamente el método no lo es todo, se requiere además mucha observación, experiencia de campo e imaginación creadora que pueda modificar los modelos para ajustarlos con los datos.

La razón de este ajuste es que la magnitud de algunos fenómenos es mucho mayor en dimensión temporal y espacial que la escala humana. Con los datos que cuenta el geólogo sólo tiene una visión parcial de la totalidad del fenómeno, algo así como si se tuvieran unas cuantas piezas de un rompecabezas de miles de millones de partes. De manera que hay que acomodar las piezas hasta obtener una explicación coherente. El problema aumenta cuando algunas de esas partes son contradictorias, además de que el acomodo de cada elemento del rompecabezas requiere creatividad.

El geólogo en su inventiva utilizará desde luego la lógica, sus conocimientos previos y experiencia, pero en este sentido no será tan objetivo pues intervendrán las preferencias personales, hacia dónde piensa orientar su trabajo, los prejuicios que tiene,...

Para aclarar lo anterior se puede suponer a un geólogo en el campo que observa un afloramiento en que destaca una estructura, en seguida su mente recorre lo que ya antes en el pasado ha aprendido o visto, de inmediato formula muchas hipótesis basadas en distintos modelos para dar una explicación, y digamos, que reconoce un cuerpo de rudistas. En seguida lo relacionará con una costa somera o a una plataforma, pues ya

conoce el paleoambiente de los rudistas, poco después observa que muchos están muy rotos y bastante fragmentados, eso demuestra una zona de litoral con alta energía y piensa en un arrecife, confirmando lo que antes había formulado, pero mira más adelante y observa que están volcados, con gran cantidad de brechas intraformacionales, su mente en seguida cambia de modelo y supone un resbalamiento (*slump*) causado por la gravedad en alguna pendiente o talud, pues conoce y ha visto que en las inmediaciones hay otras estructuras similares.

Desde la identificación de los rudistas necesitó relacionarlos a situaciones ya conocidas, poco a poco con los datos que obtenía fue armando una reconstrucción del paleoambiente que estaba estudiando. Es muy probable que en el afloramiento haya habido otras estructuras, pero es muy posible que no las "haya visto" debido principalmente a que no las conocía o bien no le interesaban para su estudio.

Pero, ¿qué sucede cuando se enfrenta a una estructura desconocida y que es muy difícil determinar de qué se trata? pues buscará relacionarla con alguna otra parecida que conozca, o echará a volar su imaginación creadora, formulando una nueva hipótesis para explicar el fenómeno.

De esta forma buscará la proporción y relación entre lo conocido y lo desconocido.

Por ejemplo John Phillips, en 1860 se propuso realizar una estimación aproximada de la edad de la Tierra. Él pensaba que el espesor acumulativo de estratos era la forma más factible de medir el tiempo geológico. Tomando el espesor total de los estratos a una tasa de depósito promedio, él suponía que podría obtener una medida directa de la edad de la corteza terrestre.

Phillips comprendió que el cálculo necesitaba de algunos supuestos; partió de que la tasa de erosión de las rocas y la relación del área erosionada para proveer el sedimento al área del fondo marino era de 1:1. Así fue como seleccionó la cuenca del Ganges, para obtener sus datos y desarrollar su teoría.

Phillips tomó como modelo que las capas de la cuenca del Ganges habían sido depositadas a la misma velocidad a la que la roca se había erosionado. Con estos datos y sin tomar en cuenta la velocidad de erosión, superficie de la cuenca de depósito, corrientes de la cuenca, etc. obtuvo una edad aproximada de cerca de noventa y seis millones de años para la formación de la corteza terrestre, (cf. Hallam, 1983, p.84).

Aunque en principio sus ideas mostraban cierta lógica, faltó una visión completa del modelo y analizar si la proporción y funcionamiento de ambos fenómenos se podían relacionar.

Muchos conceptos geológicos han nacido de la explotación de analogías. Las analogías y modelos han constituido, de manera incuestionable, una fecunda fuente de teorías científicas. El problema de las analogías es tratar de extenderlas a la suposición de que las características del modelo empleado están presentes en la nueva situación, como es en el caso de Phillips.

Existen diferentes tipos de modelos: puede haber analogía por función, características físicas o químicas, dimensiones o forma. Según el tipo de fenómenos que se estudien, su grado de conocimiento o el objetivo del trabajo, será el modelo que se emplee.

Esto orienta a usar los modelos con cautela, los cuales pueden servir para comprender algunos fenómenos, no para usarlos como reglas canónicas o verdaderas imágenes de la realidad. Como sucede con algunos "modelos clásicos" en que los geólogos siempre quieren encontrar en un litoral los elementos de plataforma-arrecife-talud-cuenca, y además la plataforma "debe estar" hasta los 200 m de profundidad.

Muy a menudo este tipo de prejuicios estorban en la observación, en la obtención de datos y en la interpretación. A este tipo de estorbos es en el que se insiste cuando se dice que las observaciones deben ser objetivas, esto es, hay que observar tal y como es el fenómeno, con todos sus elementos de manera imparcial, sin seleccionar sólo los que se conforman a los prejuicios propios o ignorar aquellos datos que los contradicen. Otro elemento que ocurre muy abundantemente es el de buscar estrictamente los datos que a nuestros prejuicios "deberían estar ahí".

Esto también implica que la analogía que emplee el geólogo como hipótesis de trabajo durante la investigación debe ser lo suficientemente flexible para permitir cambios en ella a medida de que aumenten los datos, y no mantenerla rígida y estrictamente "verdadera".

Esto trae como consecuencia que se debe tener en cuenta que, para evitar prejuicios propios y apreciaciones subjetivas, una analogía no es una

identidad total o una descripción comprensiva, es solamente una comprensión simplificada de características limitadas .

Por eso los modelos de sedimentación propuestos por varios autores (V. gr. Irwin, 1965; Sloss, 1953;...) pueden ser útiles al inicio de la investigación, como hipótesis iniciales de trabajo, pero conforme se va conociendo más y más el fenómeno, pueden irse modificando en su estructura hasta llegar a un modelo de sedimentación totalmente diferente que concuerde más con los datos obtenidos en el campo.

No siempre el modelo debe ser completamente análogo al fenómeno, es común que siempre quede un margen de datos que no le corresponden, este margen de datos sirve como pista para la comprobación de nuevas hipótesis.

No se puede descartar el empleo de modelos, más bien no se deben interpretar con tanta literalidad, ya que hay la posibilidad de falsear la interpretación de un fenómeno.

3.3.2.2 Teorías

Desde tiempo atrás se observó que las montañas, los volcanes y terremotos no están distribuidos al azar en la superficie de la Tierra, sino que se encuentran localizados en zonas concretas y bien delimitadas; en franjas angostas y paralelas a los márgenes continentales. Por otro lado, también se habían observado grandes corrimientos de terreno en sentido horizontal, que hablaban de un movimiento relativo entre grandes masas continentales. Hacia los años 60's, ocurrió otro descubrimiento: el fondo marino se está expandiendo, el suelo de los océanos se está separando a partir y a lo largo de estrechas grietas centradas en cordilleras que se extienden a través de las grandes cuencas oceánicas del mundo. Materiales volcánicos, que se supone provienen del manto, ascienden por las grietas dando lugar a una nueva corteza oceánica. Se observó que en los bordes de las grietas, la polaridad remanente del campo magnético terrestre se invertía en forma periódica, se pudo comprobar que la expansión del suelo oceánico era de dos a dieciocho centímetros por año.

Todos los datos anteriores (expansión del suelo oceánico, movimientos de masas terrestres,...) fueron organizados para dar lugar a una teoría: la de tectónica de placas.

Esta teoría nos hace ver la litosfera constituida por placas rígidas que están en continuo movimiento relativo que puede ser de tres tipos:

- a) Que dos placas se deslicen una junto a la otra.
- b) Que dos placas converjan, en cuyo caso una de las dos es absorbida por el manto.
- c) Que las placas se aparten entre sí. (cf. Dewey, 1972, p.180).

Las teorías aparecen cuando estudios anteriores realizados en una clase de fenómenos han revelado una serie de uniformidades. La teoría tenderá a explicar esas irregularidades e interpretará esos fenómenos permitiendo predecir las regularidades que sean de un tipo similar (cf. Hempel, 1973, p.107).

De esta forma, en el ejemplo antes mencionado, había muchos datos que no podían ser explicados satisfactoriamente, muchos geólogos por temor a comprometerse o por falta de datos no elaboraron otra teoría que los explicara. La teoría de la tectónica de placas permitió estructurar esos datos dándoles consistencia y sentido. A partir de entonces todo el conocimiento geológico debió de encuadrarse, confirmarse o rechazarse con base en esa teoría. Como consecuencia, esta teoría se convirtió en el esqueleto de la Geología, condicionando la observación de los fenómenos y las mismas formas de investigación, por ejemplo, los hallazgos paleontológicos tendrían que orientarse a esta teoría: se explicarán provincias faunales asociadas al movimiento de los continentes, a su antigua latitud, a su antiguo clima,...

Sin embargo a pesar de que esta teoría permite armonizar en forma lógica las generalizaciones y las construcciones logradas por analogía, no se puede decir que sea totalmente verdadera, ni tampoco que es del todo falsa, pues muchos de los apoyos en que se sustenta son de naturaleza completamente hipotética; no hay datos que confirmen si *realmente* existen plumas del manto, ni tampoco se ha podido explicar el por qué del movimiento de los continentes (Fig. 1).

Por otro lado las teorías son empleadas por algunos geólogos de manera equivocada, ya que las usan como verdades acabadas y absolutas, sin ningún análisis crítico y siguiéndolas ciegamente como si se trataran de dogmas.

De la teoría de tectónica de placas sólo se puede decir que concuerda más con los datos con que actualmente se cuentan, que es más coherente y de mayor alcance que las que existían hasta el momento de su

aparición. Fue por eso que se descartó a la teoría de los geosinclinales, ya que no daba una explicación sencilla a los mismos fenómenos que ahora resuelve la tectónica de placas. Es probable que en el futuro aparezca otra teoría que desplace la tectónica de placas debido a que se han descubierto nuevos datos, esto da a la Geología un carácter inacabado y de perfeccionamiento.

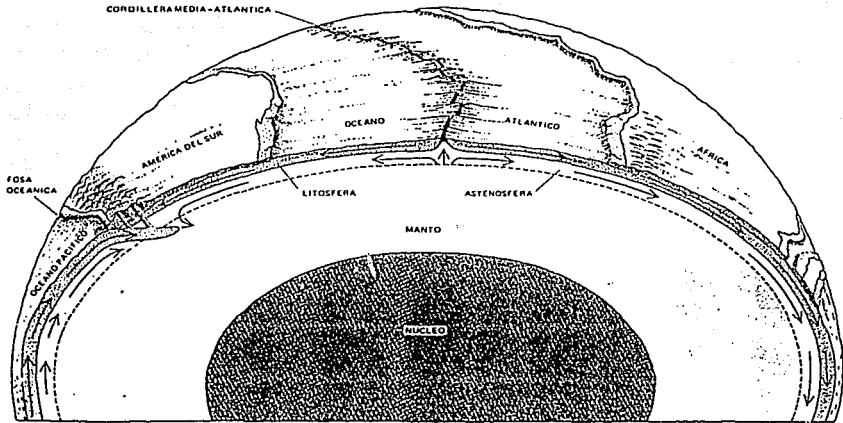


Figura 1. Sección transversal que representa la dinámica que explica la teoría de tectónica de placas (figura tomada de Wille, 1972, p. 245)

Cuando una teoría es desplazada por otra se origina una revolución en el conocimiento, pues cada teoría viene a ser el marco por el cual se comprende y estructura la ciencia particular.

Las teorías permiten una comprensión más profunda de los fenómenos, por ejemplo, la teoría de la tectónica de placas, permite visualizar ahora de una manera muy diferente a la corteza de la Tierra, no como

antes se le veía: como la cáscara de una naranja, fija y eternamente estable. Sino que ahora el concepto es de una corteza activa, móvil que invita a investigar qué hay debajo de ella y a indagar qué otros accidentes y fenómenos aún desconocidos son posibles de encontrar.

- Uso e interpretación de las teorías.

Las formas de interpretar las teorías son muy variadas, dependiendo del objetivo que se persigue en su uso, por ejemplo, algunos geólogos toman la teoría de la tectónica de placas como algo absoluto que jamás cambiará, marcando el culmen y corona de todo el conocimiento geológico. Otros la toman como un instrumento para hacer predicciones y elaboran modelos supuestos para explicar fenómenos y predecir yacimientos, sin embargo debe observarse que la teoría de la tectónica de placas es tenida por cierta y no como una ficción útil que sirva para organizar datos de estratigrafía o paleomagnetismo. Por lo anterior es importante hacer notar que la teoría de tectónica de placas es una concepción para dar explicación de algunos fenómenos, no de todos, por lo que es preciso seguir investigando para tener nuevos datos que la perfeccionen o que la eliminen por otra que resulte más completa.

Se requiere además hacer conciencia de que muchas partes de la teoría no se pueden conocer directamente por experiencia: nadie ha visto la discontinuidad de Mohorovicic o los procesos del metamorfismo en las cordilleras plegadas, pero se han hecho cálculos, sondeos e inferencias llegándose a determinar aproximadamente su naturaleza, de este modo lo que se puede comprender e inferir, lo que resulta *inteligible*, más que lo observado es la marca distintiva de lo real, en la Geología se debe considerar que las teorías representan acontecimientos del mundo. A esta forma de ver las teorías se le llama realismo. (Barbour, 1971, p.196-197)

Por lo común los geólogos de nuestro país son irreflexivos a cerca del empleo que se da a la teoría de tectónica de placas, por lo que es muy importante tomar los aspectos antes dichos a fin de ser más críticos y realistas y así aplicar mayor rigor a la investigación geológica.

3.3.2.3. ¿Es posible hacer predicciones en Geología?

Para toda ciencia, con el soporte teórico (generalizaciones, analogías, teorías,...) es posible predecir qué sucederá con un fenómeno antes de que concluya y determinar qué causas lo originaron.

La Geología es una ciencia de tipo "histórico" pues por lo general trata de hacer reconstrucciones del pasado, busca siempre las causas de los accidentes que hoy se ven en la superficie, por ejemplo: qué originó la formación del Golfo de México, qué produjo la extinción de los rudistas, qué provocó el plegamiento de la Sierra Madre Oriental,...

Hempel (1979, p.177) tomó el concepto de *retrodicción* de Reichenbach cuando se trata de determinar datos del pasado en términos de observaciones dadas con el presente. En Geología lo que se hace, por lo general, es retrodicción; se obtienen datos del presente y se proyectan hacia el pasado reconstruyéndolo.

Si se encuentran estructuras *flute marks* en la superficie de unos estratos, se pueden conocer las causas que las originaron, ya que hoy ocurren estas estructuras en los sedimentos, por lo que se puede inferir que se trató de un flujo turbulento sobre una superficie limo-arcillosa que ofrecía resistencia al paso del fluido. Además por la forma y la orientación de las estructuras es posible también determinar la dirección de la paleocorriente. Si se tienen más datos de este tipo será posible determinar las paleocorrientes dominantes en el momento de depósito para ese conjunto de rocas (Fig. 2).

Se puede decir entonces, que el pasado en Geología *no* se predice, se descubre e infiere, pues se conocen las causas que trabajan en la corteza de la Tierra, y con los pocos datos fragmentados que se conservan de los fenómenos ocurridos en el pasado se elaboran reconstrucciones. De hecho los datos que emplea el geólogo por lo regular son extremadamente pocos a comparación de lo que fue el fenómeno en su totalidad, por lo que el geólogo tendrá que "jugar" con los datos hasta obtener un modelo del fenómeno que sea coherente. El uso de los datos para las reconstrucciones consiste en ubicarlos en dos coordenadas, en espacio y tiempo y luego correlacionar los datos entre sí.

Volviendo al ejemplo anterior, el geólogo primero situará en qué lugar espacial se encuentran los *flute marks* y si corresponden más o menos al mismo intervalo de tiempo, de esta forma podrá reconstruir el evento para el área particular, y determinará las corrientes dominantes en ese momento de la paleocuenca. Al tener más registros de otros eventos diferentes (fósiles, estratificaciones,...) irá reconstruyendo el registro histórico de la dinámica de depósito de la paleocuenca.

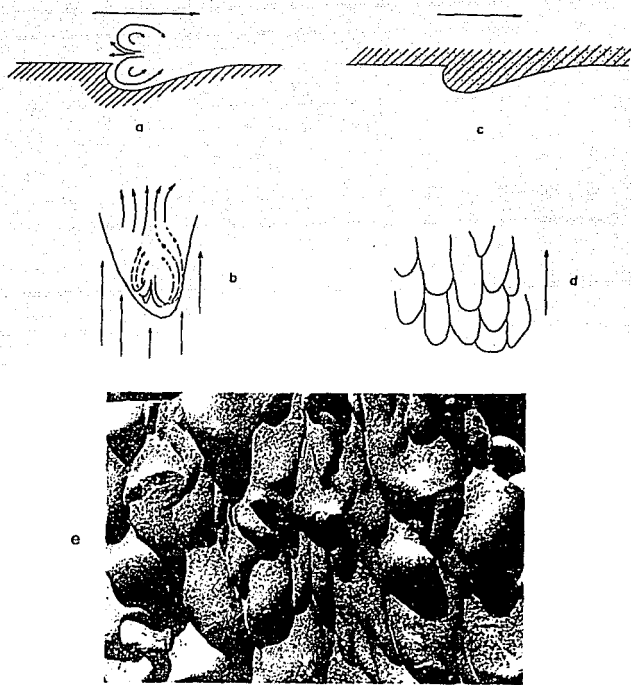


Figura 2. Esquema de formación de *flute marks*.
 (figura tomada de Mingarro y Ordoñez, 1982, p. 325).

Sin embargo en la Geología también es posible hacer predicciones, aunque esto es en menor escala, con los fenómenos que hoy ocurren y que darán lugar a otros accidentes en el futuro.

El sistema de fallas de San Andrés afecta la mayor parte de California, cambiando hacia el Mar de Cortés en una cresta oceánica que se prolonga hasta el Estado de Jalisco, tanto las fallas como la cresta oceánica señalan el límite entre las placas corticales de Norte América y del Pacífico Norte, ambas placas se mueven con una velocidad de 1.30 a 6.5 centímetros al año, esto hace que el desierto de Mohave, Sonora, se esté desplazando hacia el este con respecto del resto de la Alta y Baja California (cf. Anderson, 1972, p. 137-153). Con estos datos es posible predecir que de continuar la misma dinámica, tanto la Alta como la Baja California se separarán del resto de América del Norte formando una isla (Fig. 3).

Lo más común en Geología es hacer retrodicciones sobre el pasado, cuando hay predicciones se hacen sobre fenómenos que están actuando hoy, de los cuales se inferiría su desarrollo, pues es ilógico que se puedan pronosticar las consecuencias de eventos que aún no ocurren.

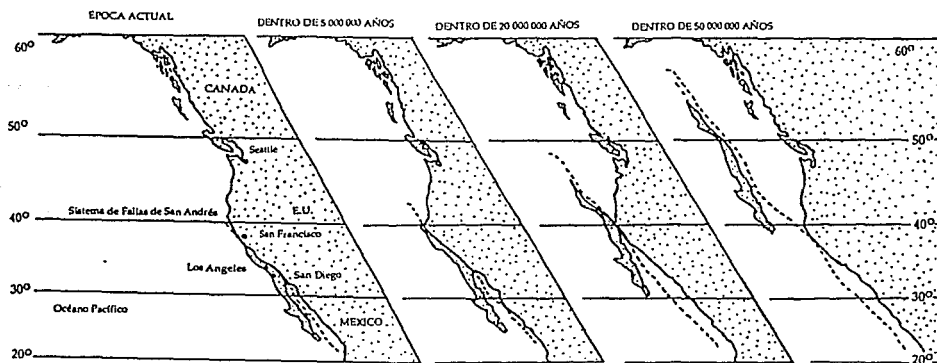


Figura 3. En el primer mapa -que muestra una parte de la costa occidental de América del Norte en la actualidad- la Falla de San Andrés, separa una pequeña laja de la California sudoccidental del resto del territorio, empotrada en la plataforma del Pacífico, esa "astilla" de California deriva hacia el noroeste varios centímetros al año. Si este movimiento continúa, dentro de cinco millones de años (segundo mapa) el fragmento formado por Los Angeles, San Diego y Baja California mexicana estará unos 480 km más al noroeste, bloqueando la bahía de San Francisco. Al cabo de 20 millones de años (tercer mapa), la estrecha laja de tierra será una península que se adentrará en el Pacífico hasta la altura de Seattle, y dentro de 50 millones de años (último mapa) puede ser una isla. Pero en realidad se ignora si ese movimiento continuará por tanto tiempo.

3.3.3. ¿Cómo saber si una generalización o una teoría son verdaderas?

- Argumentación de autoridad.

¿Cómo poder saber si una teoría, generalización o los conceptos obtenidos verdaderos?. En primer lugar dentro de la Geología, como en todas las demás ciencias, es común que para asegurar que se trata de una proposición válida se recurra inmediatamente a argumentos de autoridad: "lo dice el Dr. X, por lo tanto es verdadero", esto se hace siempre que se emplean datos obtenidos por otros investigadores, y se da por cierto lo expresado por ellos. Tomar argumentos de este tipo no se puede dejar de hacer, pues la ciencia moderna cada vez más es una empresa social (cf. Bunge, 1975, p.42). Además sería completamente imposible que cada investigador comprobara por su propia cuenta todos los datos obtenidos por sus predecesores.

- Probar si el enunciado concuerda con la realidad.

La primera prueba de verificación parte de que cada vez que se repite un fenómeno en igualdad de circunstancias y da el mismo resultado, se puede enunciar una generalización. En el momento que se produzca el fenómeno y no de el mismo resultado, la generalización resulta obsoleta y habrá que hacer una investigación más profunda del fenómeno.

Cualquier enunciado teórico (generalización, predicción, ...) es inválido hasta el momento en que no coincide con la realidad. Sin embargo las cosas no son tan simples, a medida que aumenta en complejidad el conocimiento teórico no es tan fácil decir qué es y qué no es verdadero, pues está más alejado de la realidad y del objeto.

- La falsificación de enunciados.

Según Popper (1980), el conocimiento científico ha de progresar mediante la falsificación de los enunciados. La falsificación consiste en la demostración del error y no en la verificación o confirmación. El trabajo científico sería entonces primero comparar unas conclusiones con otras en forma lógica, para luego confrontarlas con otras teorías y determinar si existe un avance científico o no. Al final habrá que

contrastar la conclusión que se considera menos errónea por la aplicación empírica de las consecuencias que puedan deducirse de ella.

En otras palabras, la prueba que propone Popper es confrontar hipótesis, teorías y modelos entre sí para descubrir cual es el que muestra mayor error, no cual es el verdadero. Esto nace a partir de la conciencia de que el conocimiento científico no es definitivo, no consiste en enunciar verdades absolutas, sino que tiende a un progreso, a un aumento en el conocimiento.

En el caso de la Geología se trata más bien de "falsificar las hipótesis de trabajo". Esto implica que una hipótesis o teoría se considera válida y suficientemente explicativa mientras no se encuentren evidencias que la contradigan. Es decir que son inexplicables en el supuesto de plena validez de la hipótesis con lo que demostrará su falsedad.

El problema de Popper es que no especifica cuál sería la teoría o hipótesis verdadera, sino que parte del supuesto de que el conocimiento es insuficiente y que no es posible llegar a la verdad plena, pero en Geología sí es posible observar que se ha llegado a un conocimiento que es completamente verdadero. Por ejemplo, el intemperismo químico que actúa sobre los feldspatos produce minerales arcillosos por acción del bióxido de carbono y el agua. Este conocimiento es absolutamente verdadero y no puede decirse que en el futuro pueda encontrarse un caso en que ocurra algo diferente para contraponerlo. Las apreciaciones de Popper quedarían sólo para hipótesis o teorías muy elaboradas, con mucha interpretación teórica y que no son del todo definitivas como la misma teoría de tectónica de placas, en la que tendría que demostrarse su error o falta de lógica en contraposición con otra teoría nueva que apareciera y que pudiera explicar mejor todos los datos que actualmente sustentan a la tectónica de placas, como sucedió en su tiempo con la teoría de los geosinclinales.

Cabe destacar que las ideas de Popper podrían corresponder con las enunciadas por Chamberlin (1897 y 1931) sobre la llamada hipótesis múltiple de trabajo en Geología, pero Popper no reconoce que sí hay un conocimiento acabado, mientras que Chamberlin, da el sentido de exploración y de nuevo descubrimiento y que a su vez es una forma de argumentación puesta en práctica por los escolásticos de la Edad Media en sus famosas *disputationes*.

Otros autores proponen que en las ciencias donde hay un nivel teórico más alto y hay más conceptos abstractos, la validez dependerá de la

coherencia lógica que empleen (cf. Artigas, 1989, p.134) y de los recursos que proporcionen para resolver problemas específicos.

Volviendo, como ejemplo, a la teoría de la tectónica de placas, muestra una coherencia lógica que logra resolver problemas estratigráficos y tectónicos, pero la misma teoría contiene importantes vacíos que no han sido explicados como: ¿qué origina la separación de los continentes?, ¿qué permite su movimiento?.

Así se puede decir que la verdad de una teoría o modelo en Geología no es completa, en el sentido de que depende del grado de avance de la investigación relacionada al fenómeno, por otra parte en el caso de las generalizaciones, la verdad se comprueba en la medida que se cumpla la generalización en los casos particulares que la siguen.

- Simplicidad

Otro factor que hay que tomar en consideración para aceptar un enunciado es la simplicidad que presenta en comparación con otros enunciados alternos que traten de dar cuenta de los mismos fenómenos.

Guillermo de Occam en el s. XIV, postuló el principio de la simplicidad con estas palabras:

Entia non sunt multiplicata præter necessitatem

Las entidades no deben multiplicarse sin necesidad. Esta sentencia debe ser la base de la reflexión científica y puede expresarse de la siguiente forma: La teoría que explica de la mejor forma el fenómeno con el mínimo de aserciones es la que debe considerarse más verosímil. Esto no significa que sea realmente la verdadera, pues pueden faltar datos que puedan impedir una apreciación más clara de la situación.

Jean François d'Aubuisson de Voisins (1789-1819) (cf. Hallam, 1983, p.16) era un ardiente neptunista salido de la escuela de Freiburgo. Escribió un tratado sobre los basaltos de Sajonia siguiendo ortodoxamente las doctrinas de Werner. Con estas ideas visitó la localidad de Auvergne y Vavarais, encontrando basaltos hasta de más de 400 metros de espesor descansando sobre granito. Era muy difícil que hubiera existido carbón debajo del precipitado químico que produjera semejantes masas de basaltos: estos basaltos no podían ser lavas de acuerdo con las enseñanzas de Werner.

Poco después d'Aubuisson vio los cráteres donde se observaba que habían salido las corrientes de lava. Concluyó, pues, que la explicación más sencilla para los basaltos de Auvergne era que habían sido extravasados de volcanes, explicación apoyada por un dato nuevo: los cráteres con los derrames de lava.

Al comparar posteriormente estos basaltos con los de Sajonia, tuvo que aceptar (con mucho sacrificio) que también eran de origen volcánico.

Es común encontrar en el camino de la investigación que un fenómeno puede ser explicado con un gran número de combinaciones de variables interdependientes. Es aquí donde se debe tomar el factor de la simplicidad: la explicación más simple es la que se tomará como la más verosímil. Así el investigador tendrá que combinar todas las variables para dar lugar a una explicación que sea sencilla, lógica y elegante.

Por lo común durante la investigación no solo debe decidirse qué explicación obtenida es la más simple, sino cuál contribuye a una teoría total más sencilla (*cf.* Goodman, 1975, p. 216).

Para concluir se puede decir que la verdad de un enunciado en Geología no es una verdad completa ni absoluta, es una verdad parcial en el sentido de que por un lado hay conocimientos que son real y totalmente verdaderos, como son los obtenidos por inducción, pero a medida que aumenta el grado de teorización y especulación de los datos y a medida que se van estructurando teorías más complicadas la veracidad empieza a disminuir y comienzan las interpretaciones teóricas de los datos que tendrán que confrontarse en el futuro constantemente con la realidad. Por ejemplo, nadie negará ahora que los basaltos son de origen volcánico, pues se puede comprobar directamente, sin embargo el mecanismo del por qué y cómo los volcanes están asociados a la dinámica de la corteza de la Tierra es aún discutible, pues se trata de teorías que requieren una comprobación definitiva.

3.4 El soporte teórico previo con que trabaja el geólogo.

Se ha dado una panorámica general del trabajo geológico desde la recolección de datos hasta la estructuración de teorizaciones y de cómo se comprueba su veracidad.

Pero el geólogo no va al campo como una hoja de papel en blanco, dispuesta a recibir los datos en forma fríamente objetiva. Todo geólogo trae tras de sí un importante acervo de conocimientos y teorías, que son determinantes y que condicionan en mucho la forma de cómo se va a investigar. Aquí se tratarán tres de los más importantes: el concepto del tiempo, la correlación y lo que Kuhn llama *paradigmas*.

a) El tiempo

- Tiempo de la Tierra-tiempo de la Geología.

Es imposible tener un conocimiento por experiencia de lo que es un millón de años, la vida humana no alcanza más que unos 70 u 80 años, ¿qué es pues el hombre, la humanidad entera comparada con la edad de la Tierra o del Universo? De esto, el ser humano únicamente puede tener una idea abstracta.

El origen de la Tierra es todavía un problema no resuelto; existen sin duda algunas hipótesis al respecto, pero aún subsisten enigmas significativos. En la Tierra no existen rocas tan antiguas como ella misma, todas han sufrido cambios, por el intemperismo, el metamorfismo,... Las rocas pudieron haber sido destruidas y reconstruidas muchas veces. De hecho, se piensa que en promedio, cada átomo de la parte externa de la corteza debió haber sido en un tiempo u otro, parte de cinco rocas diferentes (*cf.* Long, 1988, p. 147).

El momento del nacimiento del Sistema Solar y de la Tierra se ha tomado a partir de la teoría de la condensación de una nube de polvo y gas, así lo parecen señalar los meteoritos, en particular las condritas. Se supone que la acreción de la Tierra coincide con la acreción de los meteoritos y de la Luna, cuyas rocas más antiguas varían de los 4 600 a los 4 750 millones de años (Silver, 1970; Gopalan *et al.*, 1970).

Algunos proponen el nacimiento de la Tierra cuando hubo una separación entre corteza, manto y núcleo, pero esto supone un cuerpo anterior ya formado, que debió haber sido recalentado, fundiéndose todo el material, para que de este modo ocurriera la diferenciación entre corteza, manto y núcleo.

A partir del nacimiento de la Tierra aún no se tiene el inicio del registro del tiempo geológico, la roca más antigua de la Tierra se encuentra al

sureste de Groenlandia, se le ha calculado cerca de 3 750 millones de años. En Sudáfrica se localizan las rocas sedimentarias más antiguas que contienen fósiles de organismos unicelulares parecidos a las bacterias modernas, han sido fechadas cerca de 3 400 millones de años. La vida debió aparecer mucho antes, posiblemente cuando la superficie de la Tierra fue lo suficientemente fría para acumular agua (Long, 1988, p. 149).

Los datos anteriores, hoy por hoy, son las más aceptados para el inicio de la Tierra, pero presentan muchas dudas, y aún existen numerosas interrogantes: ¿qué existió antes del fechamiento de roca más antigua?, ¿qué originó la aparición de la vida?, y lo más importante ¿qué hizo que la vida se conservara y multiplicara?, el mismo Oparin (1982) no da una respuesta muy concluyente y definitiva. Lo que sí es evidente, es que la vida es un estado natural de la materia, pero ¿qué la produce?, y ¿cómo se conserva?.

Los fósiles muestran la marcha de la vida aunada a la historia de la Tierra, sabemos además que una mínima parte de los organismos que vivieron en la Tierra se conservaron como fósiles, muchas especies inimaginables debieron haber desaparecido, tal vez algunas de ellas desarrollaron cierta inteligencia superior.

- La noción de tiempo geológico.

El concepto de tiempo es básico en el trabajo geológico, toda generalización, teoría e hipótesis está referida a esta dimensión, también implica una duración y un cambio: un terremoto puede durar segundos o minutos, el desplazamiento de una barra marina puede tardar días o semanas, la formación de un valle puede durar miles de años, la apertura de un fondo oceánico puede tener una duración de millones de años: la Tierra está en constante actividad (cf. Press y Siever, 1974, p.36) y movimiento. El tiempo es la medida del movimiento según el antes de y el después de, tal como lo expresa Aristóteles:

"*numerus motus secundum prius et posterius*"

Lo anterior no se puede considerar una definición, es más bien una descripción, ya que por sí mismo el tiempo no se puede definir.

Sin embargo se puede afirmar absolutamente que todo lo que nos rodea cambia, este hecho es independiente del intelecto humano, sin embargo

el hombre es el único ente que tiene conciencia del cambio que ocurre a su alrededor, en la mente sitúa la relación de todos los sucesos, tanto los pasados como los presentes y los futuros. Usando como referencia la regularidad del movimiento astronómico del Sol, la Luna y la Tierra, el ser humano ha podido medir el tiempo en segundos, horas, días, meses o años, de este modo el tiempo parece tener una regularidad uniforme.

Cualquier objeto muestra una duración temporal, su existencia es el ser mutable, se dice entonces que los objetos son contingentes. Tiempo y duración se relacionan: el tiempo es la forma de medir la duración y el cambio (cf. Artigas y Sanguinetti, 1984, p.206).

Hay que considerar que la Geología ha contribuido a ampliar la concepción del tiempo para la humanidad, ya que, al señalar que la antigüedad del universo y de la Tierra distan mucho de lo que en el pasado se pensaba, ha abierto una nueva perspectiva antes insospechada: el tiempo se concibe hoy en un continuo infinito que se prolonga hacia el pasado y hacia el futuro, en el cual la historia completa de la humanidad es una nada. Este cambio en la forma de ver el tiempo ha traído también un cambio de mentalidades muy similar al ocurrido durante el siglo XVI con los grandes descubrimientos geográficos, en donde el hombre por primera vez observa que la humanidad se encuentra ante una bastedad inimaginable.

El cómo se ha llegado a esa conclusión de inmensidad es a través del "registro" fragmentario de la multitud de eventos que han ocurrido a lo largo de la historia de la Tierra y que han quedado grabados en el silencio de las rocas.

Al ocurrir un evento en un lugar determinado, a lo largo de un intervalo temporal, se dice que se está efectuando un *proceso*. Todo proceso origina un cambio. Al hablar en Geología de la erosión de una roca, la formación de un volcán, el metamorfismo de una roca se habla de procesos. La Geología es, ni más ni menos, que el estudio de los procesos de la Tierra. Así todo proceso tiene un inicio, una duración y un término, los inicios y finales, así como también algunos sucesos "instantáneos" son eventos *puntuales* en la historia de la Tierra como los terremotos, las extinciones masivas,...

Gaylord (1970, p.40) ha propuesto que los agentes que intervienen en los procesos de la Tierra son inmanentes, ahistóricos, lo que quiere decir es que cada agente, por sí mismo, puede ocurrir en cualquier tiempo o lugar y su naturaleza siempre será la misma. Por ejemplo la erosión fluvial es

un agente que ha ocurrido innumerables veces en el pasado; no así los efectos que producen esos agentes en los materiales, ahí sí que han dejado un registro histórico, en las rocas, valles, sedimentos, ... ha habido cambio, los materiales terrestres son contingentes. De esa forma se ha modificado la superficie de la Tierra, se han formado mares y montañas, se han depositado secuencias de sedimentos,...

Sin embargo la idea de Gaylord es incompleta, pues separa la relación intrínseca existente entre agente y efecto en los materiales, ya que en la realidad, no existe un agente que sea completamente indiferente a esos materiales, de hecho todo agente los afecta en menor o mayor grado. Más bien, el problema que es de real importancia es el hecho de que sólo unos cuantos efectos sobre los materiales se han conservado como registro histórico de tiempos pasados sobre la Tierra.

Con ese registro fragmentario y escaso (factores que aumentan mientras más remoto es el pasado) se ha podido establecer la secuencia del tiempo en Geología. Esta sucesión temporal se ha esquematizado en una tabla. La tabla del tiempo geológico que hoy se utiliza fue elaborada poco a poco a lo largo del siglo XIX.

- El desarrollo del concepto de tiempo geológico

En los inicios de la Geología, el tiempo estaba determinado por las categorías relativas *antes, en y después* de acuerdo a:

a) Estructuras sedimentarias singenéticas en las rocas; estratificaciones gradadas, cruzadas, tubos de gusanos o restos de tocones de árboles,... las cuales indican qué rocas son más jóvenes por determinar la cima y la base de las unidades litológicas y así saber cuál es la superior y cuál es la inferior, debido a sus características estas estructuras sólo son útiles a escala local.

b) El contenido de fósiles de una secuencia permitió ubicar estratos completos y diferenciarlos entre sí, según su orden de aparición en la columna estratigráfica. Con los fósiles se pudieron hacer determinaciones a escala regional, pues señalaban "tiempos" en los cuales habían aparecido y abundado organismos particulares.

Fue así como se determinaba qué roca se había formado antes que otra, si era simultánea o posterior a ella. Por ejemplo "las estructuras muestran que los estratos están volcados, por lo cual esas rocas se

depositaron después de las que presentan estratificación gradada" o bien "esta unidad se encuentra debajo de rocas con fósiles del Cretácico, por lo tanto su edad es anterior a ese periodo".

En cuanto al fechamiento por medio de fósiles, se ha discutido mucho sobre su confiabilidad (cf. Harrington, 1965; Newell, 1962), por lo que es necesario tomar algunas precauciones cuando se obtiene la edad por este medio. Por otro lado, el registro fósil muestra una gran cantidad de vacíos y no representa la comunidad natural de organismos, sino que es una comunidad de muerte, o una comunidad sepultada, además solo una minoría de fósiles de la mayor parte de las faunas son índices de tiempo confiables o fósiles guías (Jeletzky, 1965).

Desafortunadamente no todas las rocas contienen estructuras o fósiles que ayuden a determinar la edad relativa de las rocas. Esta carencia fue soslayada por el descubrimiento de la radioactividad y los métodos radioactivos: Uranio-Plomo (U-Pb), Thorio-Protactinio (^{230}Th - ^{231}Pa), Potasio-Argón (K-Ar), Argón 40- Argón 39 (^{40}Ar - ^{39}Ar), Rubidio-Estroncio (Rb-Sr), Carbono 14 (^{14}C - ^{12}C). Los métodos radioactivos resultaron muy útiles en las rocas ígneas y especialmente en las metamórficas. Sin embargo los fechamientos radioactivos tienen un margen de error y deben ser tomados con reservas.

A partir de los métodos radioactivos los fechamientos no se determinarían ya con el *antes*, *en* y *después* del evento, sino serían escalas "absolutas" referidas al tiempo humano normal.

Fue así como en seguida se buscó la manera de relacionar las dos formas de fechamientos; radiométricos y por medio de fósiles. Se empezó por encontrar las relaciones de campo en las cuales hubieran rocas fosilíferas ligadas a eventos volcánicos, o a buscar minerales singenéticos en las rocas sedimentarias que tuvieran elementos radioactivos para fecharlos por métodos radiométricos y fósiles. Fue así como se fueron sistematizando las secuencias de rocas en unidades determinadas (Unidades Cronoestratigráficas) que corresponden a intervalos de tiempo geológico (Unidades Geocronológicas), formando la Escala de Tiempo Geológico que actualmente se emplea.

A partir de estos métodos ocurrió un gran salto; ahora el tiempo en Geología fluiría teóricamente en un sentido, irreversible y de manera uniforme, como el tiempo de los relojes. Con este concepto se busca la forma de comparar nuestro tiempo cotidiano con el tiempo geológico, teniendo como base la vida media de los elementos radioactivos.

Ahora, se acepta que los únicos métodos de fechamiento más confiables, son estos dos: por fósiles y por medios radiométricos. Tiempo atrás se habían buscado otras formas para conocer la edad de las rocas:

- a) Determinando el espesor total de los estratos y tasa de depósito
- b) Por medio de la tasa de enfriamiento de la corteza
- c) Grado de salinidad de los océanos

Sin embargo estos métodos no resultaron debido a que tenían las siguientes características:

Método empleado	Continuidad	Repetitividad	Extensión
Espesor total de los estratos y tasa de depósito.	No hay continuidad la columna estratigráfica, muestra más vacíos que registros.	Las secuencias forman parte de ciclos de intemperismo-erosión-depósito que pueden repetirse constantemente. Han aparecido y desaparecido muchas cuencas de depósito.	Los estratos y en general los depósitos, son a lo más de carácter regional, no universal, son restringidos, se acuñan en los bordes, el espesor por sí mismo no dice nada; pudo haberse depositado 1 m. en 1 hr. o en 2 años...
Taza de enfriamiento de la Tierra	Se supone que la Tierra se enfría paulatinamente, sin embargo su enfriamiento no es uniforme, existen zonas más calientes que otras.	Las zonas calientes han cambiado en la superficie de la Tierra y dependen de la dinámica de la corteza.	La heterogeneidad del calor de la corteza, terrestre hace ver que los cambios en temperatura son locales.
Grado de salinidad de los océanos	La salinidad del mar no aumenta de manera indefinida, en el momento de la saturación se precipita el excedente de sal.	La salinidad del mar varía dependiendo de la temperatura y del aporte de aguas dulces continentales.	No hay uniformidad en la salinidad marina.

En consecuencia, para que un parámetro sirva para medir el tiempo geológico debe ser *continuo, irrepitible* y que tenga *carácter universal*.

Es un hecho que la evolución orgánica ha mostrado continuidad, irreversibilidad e irrepeticibilidad, características que le han permitido ser tomada como parámetro en la determinación del tiempo, ya que algunos organismos han alcanzado difusión cosmopolita.

Por otra parte, en cuanto a la desintegración radioactiva, presenta las mismas características, pero tiene una ventaja que supera al fechamiento con fósiles; se puede salir del ámbito de la Tierra y usarse en rocas de otros planetas.

Con esta forma de determinar el tiempo, cada evento concreto es único e irreplicable y causa un efecto posterior. En Geología una cosa es cierta el pasado determina el futuro, pero todo evento está ligado al principio del Uniformitarismo.

Otra forma de fechamiento alternativo es por los métodos paleomagnéticos, ya que en la roca en el momento de su formación, sus minerales magnéticos se orientan conforme al campo de la Tierra prevaleciente. Estos fechamientos no son muy confiables ya que la roca puede perder su magnetismo natural. Por eso se necesita del soporte de criterios estratigráficos, paleontológicos,... para confrontar la edad de la roca.

Con estos elementos se ha ido construyendo la tabla del tiempo geológico que ahora se usa. Para ello se han establecido las "unidades geocronológicas", que no son más que una división teórica del tiempo de acuerdo a nuestras categorías mentales, teniendo como base los eventos que se suponen más importantes de la historia de la Tierra y que están registrados en las rocas.

Muchos geólogos opinan que estas divisiones de tiempo son arbitrarias o al menos definidas al azar, mientras que otros, juzgan que estos límites reflejan momentos significativos en la historia de la Tierra, como extinciones masivas o grandes discordancias que reflejan orogenias y por lo tanto son "naturales". Hasta ahora no se ha podido determinar exactamente las duraciones y límites de las unidades geocronológicas, ya que existe una gran diversidad de opiniones en cuanto a sus rangos. En algunas ocasiones, la escala radioactiva del tiempo a veces sí proporciona buenos fechamientos, pero no pueden ser utilizados para fijar el principio o fin de cualquier unidad geocronológica, ya que los límites de estas unidades son de otro tipo (paleontológico,

litoestratigráfico,...). Todo esto quiere decir que los límites de estas unidades no son objetivos y que están sujetos a interpretaciones.

Wartofsky (1968), observa que no es imposible separar los conceptos de espacio, tiempo y materia: es el *estar* en un lugar y durar ahí algún tiempo, es el estar como materia que se extiende en el espacio.

Es difícil cuantificar espacio y materia en el pasado geológico, sabemos que lo que tenemos para leer el pasado son rompecabezas de materiales que hablan de sucesos y espacios diferentes a los que actualmente existen.

La parte material es solo el testimonio de eventos que ocurrieron en la Tierra a través del tiempo, esta parte permite hacer reconstrucciones de medios ambientes, climas, la existencia de mares hoy desaparecidos, volcanes que algún día explotaron..., pero cuando se llega a la configuración espacial, es difícil aproximarla, por ejemplo aproximar la profundidad de una paleocuenca, su tamaño... Para poder hacer una reconstrucción espacial teórica en algún punto del tiempo geológico es necesario hacer un gran acopio de datos, que una vez procesados darán una interpretación. Estas interpretaciones aumentarán en el grado de inseguridad a medida que se van alejando del presente por la insuficiencia de datos. Para elaborar estas interpretaciones y reconstrucciones, el geólogo recurrirá a la *correlación*.

b) Correlación

El concepto de correlación es muy importante dentro del trabajo geológico, el geólogo al correlacionar no hace más que integrar en forma lógica el tiempo, la materia y el espacio, para reconstruir la historia geológica. Otra definición, para dejar más claro el concepto, es cuando dos o más procesos se encuentran separados entre sí y tienen algún elemento litológico, contenido fosilífero o edad en común, se dice que son correlacionables. De esta forma es factible tomar cualquier característica de las rocas para hacer correlaciones.

A través de la correlación es como se pueden hacer reconstrucciones del pasado geológico, se obtiene una visión más amplia de las características geológicas y permite una mayor comprensión de la Geología en general.

El Código de Nomenclatura Estratigráfica (1983, p. 851) indica que la correlación es la demostración de correspondencia entre dos unidades geológicas, definiendo su propia y relativa posición estratigráfica. El Código distingue las tres propiedades más comunes para la correlación:

- a) Litocorrelación
- b) Biocorrelación
- c) Cronocorrelación

Por tratarse de un tema tan controvertido se hablará brevemente de estas tres propiedades, para detectar cómo se relacionan con la metodología geológica.

- Litocorrelación

Es la relación entre unidades de roca con base en sus características líticas y posición estratigráfica. En este caso las unidades se distinguirán por su naturaleza y su localización.

La litocorrelación permite reconocer la extensión, distribución y configuración de un cuerpo de roca particular. La forma de correlacionar es comparar la similitud o la diferencia litológica que existe entre dos o más afloramientos distintos. Lo que se correlaciona no es el afloramiento en su totalidad, sino únicamente los datos que pueden obtenerse de la superficie dimensitiva que circunda al cuerpo. Aquí nos encontramos con que los datos a correlacionar son muy pocos, pues son sólo los que se muestran en la superficie y no los de toda la roca aflorante.

La litocorrelación es básica en el trabajo geológico, para delimitar los cuerpos de roca, determinar las estructuras locales y regionales, recursos económicos y la geología histórica de regiones completas.

Cuando se define un cuerpo de roca como unidad litoestratigráfica aparecen algunas divergencias, ya que al definirse se hace en forma arbitraria y tomando las características litológicas que el autor de la definición *considera* dominantes. Por otro lado todo cuerpo de roca no es homogéneo y dentro de sí tiene muchas variaciones tanto laterales como verticales, lo que hace difícil determinar "objetivamente" sus límites.

Se ha discutido también sobre el grosor que deben tener las unidades litológicas, pero siempre se ha planteado en función del objetivo que se persigue al delimitar la unidad..

- Biocorrelación

Expresa la similaridad en el contenido fósil (homotaxis) y en posición bioestratigráfica. En principio esto parece fácil y objetivo, pero no lo es así. Algunos problemas relacionados a la correlación con fósiles ya han sido abordados (cf. Harrington, 1965), a continuación se enumeran algunas consideraciones más sobre este tipo de correlación.

a) Tomando en cuenta que lo que se encuentra es una población muerta, la manera de distinguir los grupos taxonómicos es sólo por comparación de las estructuras que se pudieron conservar. De este modo existe la posibilidad de error en la identificación de los fósiles a causa de la convergencia evolutiva y por lo fragmentario de los restos.

b) Los organismos, por muy cosmopolitas que sean, quedan restringidos solamente a los medios ambientes que les fueron favorables, aunque algunos grupos pueden llegar a otros ambientes después de muertos.

c) Es común hacer correlaciones del conjunto de fósiles, o por la *zona* en que aparecen a lo largo de la columna, las zonas se bautizan con el o los nombres de los fósiles más representativos. Los fósiles del conjunto representan una fauna local y a lo más regional pero siempre son restringidos, ya que se encuentran relacionados a provincias biológicas, por lo que no es posible hacer correlaciones a grandes distancias con el conjunto fósil, que abarquen diferentes provincias biológicas.

d) No todos los restos de organismos se conservaron como fósiles, debieron haber desaparecido muchos por procesos diagenéticos.

e) No es posible conocer el rango completo de vida de una especie por lo fragmentario del registro fósil.

Todos estos aspectos muestran que no es posible tener una absoluta confianza con los fósiles, desde su recolección en el campo hasta su identificación y menos cuando solamente se cuenta con un par de ejemplares, por lo cual hay que tener precauciones cuando:

a) No hay un número suficiente de fósiles

b) Son restos muy poco conservados que no permiten una identificación confiable.

Desafortunadamente en nuestro país no se toman en cuenta estas consideraciones, originando trabajos de muy dudosa confiabilidad.

- Cronocorrelación

Expresa la correspondencia en edad y en posición cronoestratigráfica. Uno de los aspectos más importantes en Estratigrafía es determinar la equivalencia en el tiempo entre las unidades estratigráficas.

Para que la cronocorrelación sea confiable se necesita que cada proceso a correlacionar presente al menos un elemento en común (paleontológico, paleomagnético, fechamiento radiométrico, o criterios estratigráficos tales como superposición o relaciones entre cuerpos de roca) que demuestre que hayan sido más o menos simultáneos. Desde luego debe de tenerse un margen de seguridad alto sobre la determinación de estos datos.

El Código de Nomenclatura Estratigráfica establece:

"Ideally, the boundaries of chronostratigraphic units are *independent* of lithology, fossil content or other material bases of stratigraphic division, but, in practice, the correlation or geographic extension of these boundaries relies at last in part on such features" (*sic*).

El Código no explica por qué son "ideales", si de inmediato reconocen que tienen como base en la práctica, elementos materiales (nada ideales) y que de estos elementos surgieron las divisiones. El mismo Código habla luego de los *estratotipos límite* (p.869, Art. 78), que son los que guardan la separación entre esas unidades.

Hay que reconocer que la correlación es muy subjetiva en algunos casos, sobre todo cuando no están muy claros los límites entre las unidades. Para tener más "objetividad" algunos geólogos prefieren imponer sus propios límites a las unidades en sus respectivas áreas de estudio.

c) Paradigmas

El geólogo al ir al campo además de llevar un concepto particular del tiempo y de que debe hacer correlaciones con los datos obtenidos lleva además un *marco de referencia global*, que le permite tener una visión particular de la realidad que va a estudiar. Ese marco de referencia es equiparable al concepto de *paradigma* acuñado por Kuhn (1975) en su obra *La estructura de las revoluciones científicas*.

Al principio de este trabajo se vio cómo se pasa de la realidad del fenómeno al conocimiento teórico con la formación de teorías, esta forma de exponer la investigación geológica da idea de continuidad y progreso en el conocimiento y en la ciencia. Sin embargo en la Geología, ya en la práctica, hay un avance discontinuo en el que puede haber retrocesos; es aquí cuando se coincide con el concepto de paradigma.

Los paradigmas son conceptos bien establecidos, *ejemplos standard* del trabajo científico pasado, aceptados por un grupo de científicos determinado y en un tiempo dado (cf. Barbour, 1971, p.188). Los paradigmas además, concuerdan con la estructura histórico-mental en que vive un grupo de científicos. Son los ejemplos nombrados en los libros de texto, los aprenden los estudiantes de Geología junto con los conceptos teóricos, los métodos de observación, recolección de datos, normas de campo y experimentación, en la investigación se utilizan como *tradición recibida*. Esta tradición influye en los conceptos por los cuales el geólogo mira al mundo, dirige su trabajo y en la forma como emplea el lenguaje.

Cuando un paradigma nuevo suple a uno antiguo, origina una verdadera revolución científica y los viejos conceptos adquieren una nueva perspectiva. El ejemplo más patente en Geología fue el cambio ocurrido entre el paradigma del geosinclinal al de tectónica de placas. En los años 1960's, las ciencias geológicas experimentaron una revolución comparable al concepto copernicano de un universo heliocéntrico, o a la teoría evolucionista en las ciencias biológicas. Del geosinclinal en la mejor descripción hecha por Kay (1951), se pasa al paradigma de la tectónica de placas (Morgan, 1968), originando un cambio completo de conceptos, mentalidades y visión del mundo. A partir de entonces todo girará en torno a la perspectiva de la Tectónica de Placas.

Es curioso observar, como ya se sabe, que la raíz de la teoría de la tectónica de placas fue postulada originalmente por Wegener en 1912

como teoría de la deriva continental (cf. Drake, 1987). Esta teoría no fue tomada en cuenta en su tiempo, ya que la comunidad geológica de aquel entonces, no encontraba una explicación al mecanismo que originara el movimiento de los continentes. El paradigma que se utilizaba era inmovilista y aún no había evidencia alguna de movimientos horizontales a gran escala, por lo que las ideas de Wegener resultaban fantasiosas y hasta imposibles. Probablemente con el tiempo esas ideas hubieran desaparecido, si no se hubieran empezado a explorar los fondos marinos, en donde se encontraron las evidencias más notables de que existía una dinámica de la Tierra desconocida:

"A given idea can flourish or vanish, depending upon the situation in which it arises. Wegener's idea might well have been lost because it came too early". (Oliver, 1988, p.157).

Más curioso aún, es señalar que también, en el caso de la teoría evolucionista no se conocía el mecanismo genético del cambio en el momento de su postulación, y por ello tuvo severas críticas. El mecanismo (la herencia genética mendeliana) fue descubierto unos 50 años después de enunciada la teoría.

¿Cuántas propuestas nuevas, originales y válidas han sido desechadas porque se les ha considerado imposibles?

El geosinclinal era el paradigma que suponía una Tierra inmóvil, únicamente existían movimientos verticales y horizontales a pequeña escala, causados en parte por isostasia y en parte por mecanismos desconocidos. Los continentes y océanos eran permanentes, lo único dinámico eran los geosinclinales concebidos como grandes cuencas de depósito que de repente eran plegados formando montañas, las cuales se erosionarían rellorando algún otro geosinclinal. Cuando apareció el nuevo paradigma de tectónica de placas, por un breve periodo los partidarios de los dos paradigmas diferentes entraron en competencia para ganarse la lealtad de sus colegas, fue cuando se formó una verdadera pugna, los que defendían el geosinclinal sentían que todo lo que habían hecho en el pasado no había valido, pues con la nueva perspectiva se daban respuestas diferentes a los problemas antiguos. Algunos para ser llamativos y estar a la moda adoptaron en seguida el modelo de la tectónica de placas sin ningún juicio crítico al respecto, todos hablaban de tectónica de placas, aunque pocos la comprendían. En la ciencia por lo general hay resistencia a las revoluciones causadas por los cambios en los paradigmas, sobre todo de los más viejos y en el caso de la Geología esto fue notable.

Para que haya una "conversión" al nuevo paradigma, no basta un razonamiento lógico puro, o la obtención de muchos datos novedosos. A veces una nueva opinión es aceptada cuando la generación "mayor" ha desaparecido o se ha convertido a ella. Para subrayar lo circunstancial de que un paradigma permanezca, Max Planck (*in* Hallam, 1983, p.157) dice con ironía:

"A new scientific truth does not triumph by convincing its opponents and making them see the light, but rather because its opponents eventually die, and a new generation grows up that is familiar with it."

La elección entre paradigmas en competencia no es del todo arbitraria, ni subjetiva, ni determinada por reglas sistemáticas, es una elección que depende solamente de la comunidad geológica, misma que puede llevar a su término. Solo la comunidad geológica puede adoptar tales decisiones. De esa manera una vez aceptado el nuevo paradigma, toda la formación de los nuevos geólogos se enfocará al nuevo modelo y se desechará el antiguo, de modo que ya no habrá oponentes que estén a favor del antiguo.

Si acaso hubiera alguien que no estuviera de acuerdo con el paradigma en boga, sería visto como alguien excéntrico, no actualizado y fuera de la Geología "oficial".

Un paradigma nuevo al suplir a otro anterior, retiene muchos rasgos de la tradición previa al cambio. La mayor parte de los datos obtenidos y muchos de los métodos y las hipótesis que prevalecieron se "*traducen*" a la nueva situación, es decir, se interpretan a la luz del nuevo paradigma.

Así, para explicar el mecanismo del plegamiento de los geosinclinales se presentó el modelo de las "celdas de convección" de Griggs de 1939, las cuales se ubicaban en la parte superior del manto, directamente debajo de los geosinclinales, con el paradigma de la tectónica de placas de nuevo se volvió a usar el modelo de las celdas de convección, pero ahora fue para explicar el porqué del movimiento de los continentes, la apertura del fondo oceánico y la colisión entre placas. De esta forma ocurre cierta continuidad en la ciencia, pero esa continuidad raramente es en línea recta.

Otro ejemplo, bastante claro, es el de los geólogos ingleses de los años 1820's, ellos observaron los depósitos que fueron formados por agentes que no operaban en el presente geológico y que contenían fósiles de organismos desconocidos. Estos geólogos los llamaron *depósitos diluviales*, indicando que el agente fue una gran inundación o inundaciones catastróficas que habían afectado a casi todo el norte de Europa y al rededor de los Alpes. Estas inundaciones las correlacionaron con el diluvio bíblico. A estos diluvios se les daban varias explicaciones, dependiendo de cada autor.

Poco a poco, se fue abandonando la idea del diluvio por la de violentas inundaciones que cubrían la tierra con profundidades hasta de 1 500 metros a velocidades enormes, las explicaciones para tales inundaciones implicaban olas catastróficas originadas por mecanismos de la corteza.

Con el tiempo fue desapareciendo la idea de las inundaciones por una explicación nueva, la de la *edad de hielo*. Este paradigma explicaba que los mismos depósitos fueron formados por grandes glaciares que aparecían y desaparecían por glaciación y deglaciación de los hemisferios norte y sur, debido a un desplazamiento del centro de gravedad de la Tierra. Esta teoría causó en su inicio un gran choque con los diluvistas e inundacionistas y empezó a tener auge hacia los años 1830-1840 (cf. Hallam, 1983, p.64s).

Así pues, en aquellos años se tenía fijo al principio el paradigma del diluvio bíblico y no se podía de momento dar otra explicación para los depósitos. Fue necesario un cambio de mentalidades y aumento en el conocimiento geológico, para dar otra solución más cercana a la realidad para la formación de los depósitos que tenían a la vista. Las estructuras mentales llevan en sí mismas la manera de determinar qué tipo de problemas son más significativos y cómo deben atacarse, este hecho, desde luego, escapa a toda lógica.

Según el paradigma que utilice el geólogo, serán los conceptos que emplee y objetivos que persiga, en el trabajo de campo y en la elaboración de generalizaciones y teorías.

3.5 La transmisión del conocimiento geológico.

El culmen de todo trabajo geológico radica en que pueda ser transmisible, esto parte del hecho que la investigación geológica no es

un hecho aislado, sino que entre los geólogos debe ocurrir una transmisión de conocimientos. Cada investigador depende de sus predecesores, pues asume de ellos, como válidos, todos los resultados que obtuvieron, tomándolos como soporte para los datos que obtenga. Es así como ocurre una comunicación continua entre los geólogos jóvenes con los viejos. Es por eso que una de las características más importantes de toda ciencia es que sea *comunicable*. La ciencia como expresión particular de la cultura requiere para existir de transmisibilidad; es la herencia de una generación a otra.

La comunicación se lleva a cabo mediante publicaciones periódicas y de encuentros profesionales (simposia, congresos,...), que son los medios más importantes de información, difusión y estímulo para nuevos trabajos. Esto hace que se busque un lenguaje bien determinado y "estandarizado", inteligible para el destinatario, quien tendrá que hacer una comprensión, si no es que una interpretación del trabajo que se le presente (una hermenéutica). Cabe destacar que la eficacia de la transmisión del conocimiento raramente es total, ya que existen numerosas e importantes dificultades como la barrera del idioma y la inaccesibilidad de las publicaciones, pues muchas de ellas, en México, no se pueden conseguir con facilidad. Además el lector deberá ser consciente de la distancia espacial, temporal, cultural y síquica del autor.

La relación entre científicos origina que se les pueda distinguir como una comunidad definida, diferente al resto de la sociedad, que se origina y está inserta en esa misma sociedad, pero que tiene sus propias formas de expresión. Se sigue entonces que la comunidad geológica es un grupo bien determinado, con doctrinas propias, con sus propios ideales y costumbres, asambleas, símbolos y lenguaje, ética profesional y sanciones, instituciones y organizaciones. Tiene sus propias creencias, ya sean herejías u ortodoxias, tiene su política, grupos de poder y divisiones. Estos aspectos harán depender en mucho la transmisión de sus conocimientos. (cf. Shilling *in* Barbour, 1971, p. 186).

3.5.1 El vocabulario y los conceptos

En Geología, como en otras ciencias, para posibilitar la comunicación de los miembros de la comunidad geológica, se ha tratado de elaborar un vocabulario propio, "objetivo", en el que cada concepto utilizado determine y se aplique sólo a un fenómeno particular, el término debe

ser entendido por todo mundo y todos deben conocer con precisión su contenido.

Por ello se han hecho glosarios y aún códigos de nomenclaturas con el fin de tener definiciones "exactas", "universales", que en teoría unifiquen criterios y eviten confusiones y duplicación de términos, esto es muy claro en el *Código de Nomenclatura Estratigráfica* y en la *Guía de Nomenclatura Estratigráfica*. El Código de Nomenclatura Estratigráfica específica dice(1983, p.847):

"A stratigraphic code or guide is a formulation of current views on stratigraphic principles and procedures designated to promote *standardized classification and formal nomenclature* of rock materials".

Dicho de otra forma, se trata de dar uniformidad en los conceptos para cualquier persona, sin tomar en cuenta su cultura e idioma, pero una postura así es imposible de sostener. Algunos opinan que grandes áreas de la Geología no han progresado lo suficiente por falta de una estructura de lenguaje estandarizada, pero es ilógico suponer una nomenclatura ya establecida antes de encontrar nuevos elementos a que aplicárselos. Por lo general se va ampliando la nomenclatura a medida que van surgiendo nuevos descubrimientos. Se han hecho reflexiones para establecer reglas y tener una nomenclatura "lógica" y "racional" (cf. Wadell, 1938, p.564-568), sin embargo no ha habido mucho éxito. Lo más común es listar definiciones, es así como se elaboran diccionarios y códigos.

Por otro lado cuando estos "códigos" se traducen a otros idiomas aparece el problema, que ya ha indicado Gadamer (1977), de que toda traducción es por eso ya una interpretación e incluso puede decirse que es la consumación de la interpretación que el traductor hace madurar en la palabra que se le ofrece. Cuando es necesaria la traducción no hay más remedio que hacerse cargo de la distancia entre el espíritu de la literalidad originaria de los dicho y el de su reproducción, distancia que nunca llega a superarse por completo.

Además tomando en cuenta lo dicho por Whorf (*in* Hierro-Pescador, p. 170-173) sí se puede decir que la lengua condiciona, al menos en parte, la interpretación que se tiene de algún concepto, como manera de contemplar el mundo y una forma particular de hablar de él. Por ejemplo la palabra *limestone*, traducida literalmente al castellano significa

"piedra de cal", su equivalente castizo es "caliza", esto quiere decir que una persona de habla inglesa concibe en forma diferente la misma roca que una de habla castellana.

La naturaleza de la verdad está inminentemente ligada a la semántica, ya que cada proposición está llena de contenido (cf. Cloud, 1970). Esto quiere decir que cada palabra trae consigo por lo menos una idea.

En los códigos y diccionarios ya mencionados se supone que cada término utilizado tiene un contenido particular, es ese y no otro el que ha de emplearse. Así la comunidad debe comprender a qué se refiere cada término, esto condiciona la interpretación que se hace del fenómeno.

Por otro lado es posible encontrar estructuras que no tienen correspondencia con los términos definidos, entonces, ¿cómo nombrarlas?. Se acostumbra bautizarlas por su textura, estructura, aspecto exterior, por su supuesto origen o por la localidad en que se descubrió y todo eso ya tiene mucho de interpretación. En el caso de los fósiles, a veces se les da nombre de género y especie en honor de alguna persona.

Hay muchas deficiencias en las nomenclaturas e irracionalidad en algunos casos, que ya fueron considerados por Wadell (1938, p. 552). Como ejemplo cita el caso del granito de hiperstena del sur de la India, que se le dio el nombre de Charnockita, porque la lápida de Job Charnock, fundador de Calcuta, estaba hecha con esa roca. Ahora el nombre de Charnockita es común para toda roca similar a esa.

A pesar de que se busca la objetividad en un lenguaje que sea realmente preciso, los únicos lenguajes de tal naturaleza son los de la Lógica y la Matemática, basados en símbolos no verbales, mientras que las otras ciencias usan símbolos verbales, palabras pues, que originalmente no tenían la pretensión de representar conceptos científicos, sino meramente "prácticos" y que poco a poco han ido restringiendo su espectro semántico para quedar en nominaciones precisas y/o exclusivas de tales conceptos. Este proceso ha sido en gran medida analógico o aún metafórico, *V.gr. campo magnético, caballos de fuerza,...*

En la Geología es común también el uso de metáforas o "analogías" tales como: *zona, bomba, cabalgadura,...* Las metáforas son comparaciones gráficas, parábolas que tienen como base una analogía de proporción. Son importantes pues permiten el conocimiento de verdades profundas y difíciles de expresar adecuadamente, sobre todo cuando los fenómenos

son complejos. De hecho, dados los fenómenos geológicos, parece poco probable llegar a un lenguaje "objetivo" y "preciso".

Mientras más evolucionen las ciencias más se buscarán palabras para su mejor comprensión. Cada término debe ser explicado en lenguaje natural, así se busca que el conocimiento científico emplee conceptos más claros, aunque no precisos.

Si bien es cierto que no se podrá llegar a un lenguaje verdaderamente objetivo, sí es necesario que sea claro y riguroso. Esto se debe a que esencialmente en la transmisión de ideas de mente a mente, para lograr esa transmisión, el individuo emisor codifica sus ideas verbalmente, después representa las palabras en un sistema gráfico, el lenguaje escrito; y esto es "leído" o capturado por el sujeto receptor, quien luego los codifica verbalmente y por último los decodifica en forma de ideas, que ahora están ya en su mente.

Al representarse gráficamente las palabras y ser esta representación la única forma de información, se han perdido las posibilidades informativas que da la palabra hablada: entonación, timbre, intensidad,... así como las del "lenguaje" corporal que acompaña a la expresión hablada y que tan rica puede ser para matizarla. Por ello y para que no quepa duda a cerca de la idea que se pretende transmitir, esta deberá expresarse en un lenguaje riguroso, esto es, bien delimitado, no ambiguo y claro, y que toda la comunidad conozca. De esta forma opera -teóricamente- la ciencia.

Dado que la ciencia recurre al lenguaje natural y crea nuevos términos que no existen en ese lenguaje puede decirse que lo que llamamos "lenguaje científico" es en realidad una parte *especializada* del lenguaje natural aplicado a una ciencia particular (cf. Serrano, 1981, p. 213).

Aunque la formación de nuevos términos que contribuyan al desarrollo del conocimiento es necesaria, no siempre se corresponde esto a la acuñación de palabras nuevas, muchas de las cuales son de uso muy restringido o peor aún, expresan o nombran algo ya conocido y designado.

Según Watznauer (*in* Betz, 1970, p.252), le terminología se ha convertido a veces en una barrera que detiene el entendimiento, barrera que crece en altura por la proliferación de vocablos especializados. Cuando se abate la comunicación basada en la terminología, el idioma especial pasa a ser una jerga. Al aumentar tanto la terminología especializada se disminuye la comunicación con los científicos de otros

campos y con la gente común, haciéndose cada vez más inaccesible el conocimiento.

3.5.2 Las clasificaciones

Otro aspecto muy importante en la Geología relacionado al lenguaje es la clasificación; ¿cómo clasificar los datos obtenidos para dar una explicación satisfactoria?. Han surgido muchas formas taxonómicas, que son empleadas en Geología, el solo hecho de clasificar implica por sí mismo una interpretación que repercutirá mucho en las conclusiones finales del trabajo geológico.

Según Wilson (1971), la taxonomía es el estudio teórico de la clasificación, incluyendo sus bases, principios, procedimientos y reglas. Clasificar es ordenar conceptualmente los objetos de estudio en grupos de acuerdo a continuidad, similaridad o ambas.

En la base misma de cualquier proceso de buscar un orden y hacer alguna observación, se encuentra la más humilde y modesta de las operaciones intelectuales y lingüísticas de clasificación (Wartofsky, 1968, p. 206).

El clasificar nos lleva a agrupar en diversas categorías las características de los objetos, relacionándolos entre sí. Los objetos que comparten cierta propiedad "generan" la clase correspondiente a esa propiedad y por diferentes que puedan ser en otros aspectos, muestran una relación de "equivalencia" por lo que se refiere a esa propiedad. No existe un esquema de clasificación que sea ideal, ya que la elección de las propiedades dependen de la persona que está haciendo la clasificación.

Para el Código de Nomenclatura Estratigráfica (1983, p. 897), el objetivo de un sistema de clasificación es:

"...to promote unambiguous communication in a manner not so restrictive as to inhibit scientific progress." (sic).

Pero el Código no toma en cuenta que la clasificación tiene como base en muchos casos, el libre arbitrio de los autores, que utilizan a menudo conceptos vagos de interpretación ambigua.

Las clasificaciones dependen mucho del fin que persigan, de modo que tenemos clasificaciones de acuerdo a la litología, características paleontológicas, génesis, estructuras, propiedades geofísicas,...

Uno de los problemas existentes en las clasificaciones geológicas es que a menudo se ha tratado de seguir un sistema de clasificación de tipo biológico, que no puede ser aplicable a la Geología (cf. Ferrusquía-Villafranca, 1978). La clasificación biológica es más bien de tipo jerárquico, basada en los linajes de los grupos de organismos, mientras que en la Geología se trata de buscar relaciones que vinculen y agrupen a los elementos de las rocas para su mejor comprensión.

A continuación, se citan algunos ejemplos de clasificaciones a fin de señalar los defectos y virtudes que se dan dentro de este aspecto en el campo de la Geología.

La Guía Estratigráfica Internacional (1979, p.9) clasifica para los fines de la Estratigrafía en tres grandes grupos de acuerdo con las características líticas, fosilíferas y tiempo, añadiendo un bloque más en el que puedan caber todas las demás características que permitan hacer una clasificación estratigráfica:

Categorías Estratigráficas
Litoestratigrafía
Bioestratigrafía
Cronestratigrafía
Otras categorías estratigráficas (mineralógica, ambiental, sísmica, magnética, etc.)

Mientras que el Código de Nomenclatura Estratigráfica (1983, p. 848) clasifica de la siguiente forma:

I. Categorías materiales basadas en el contenido o límites físicos
Litoestratigráfica
Litodémica
Magnetopolaridad
Bioestratigráfica
Pedoeestratigráfica
Alloestratigráfica
II. Categorías expresadas o relacionadas a la edad geológica
Categorías usadas para definir espacios de tiempo
Cronoestratigráfica
Polaridad-Cronoestratigráfica
Categorías temporales (no materiales)
Geocronológica
Polaridad-geocronológica
Diacrónica
Geocronométrica

Al comparar estas dos clasificaciones podemos concluir que la del Código de Nomenclatura Estratigráfica es más extensa, ya que utiliza conceptos que la Guía no presenta. Se puede observar que de la Guía al Código ha ocurrido un modesto avance en el conocimiento y comprensión geológicos, que sin embargo, queda ampliamente cancelado por la proliferación de conceptos espurios, y sistemas de clasificación triviales, que oscurecen más que clarifican las relaciones entre las diversas clases de unidades. Por ejemplo, las unidades litoestratigráficas en principio pueden incluir también a las entidades formadas por rocas metamórficas, o las terrazas, con lo cual, se obviaría la necesidad de generar sistemas de clasificación y designación especial dedicados a unidades de estas clases.

Otro tanto puede decirse de las unidades cronoestratigráficas, con relación a las de polaridad geocronológica, a las geocronométricas o a las diacrónicas, ya que independientemente de la metodología empleada para inferir el tiempo, éste es uno solo y puede expresarse de acuerdo y fácilmente con el sistema de Unidades Cronoestratigráficas.

En fin, esto hace suponer que toda clasificación también está en función del grado de conocimiento alcanzado por la ciencia.

Veamos ahora la escala de Wentworth de 1922 para la clasificación de tamaño de los granos detríticos:

Nombre de la partícula en inglés	Nombre de la partícula en español	Tamaño en mm
Boulder	Bloque	más de 256 mm
Cobble	Guijarro	64 a 256
Pebble	Grava	4 a 64
Granule	Gránulo	2 a 4
Sand	Arena	1/16 a 2
Silt	Limo	1/256 a 1/16
Clay	Arcilla	menos de 1/256

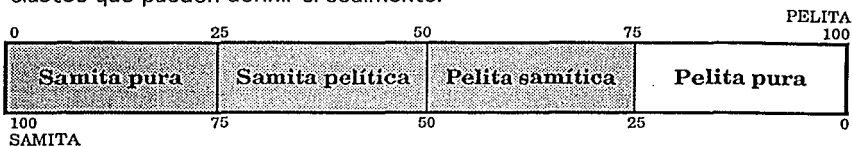
A continuación se muestran algunas escalas más:

#	U.S. BUREAU OF SOILS (1908)		OBRAS PUBLICAS (FRANCIA)		KINSTEIN	CAYENNE		LOOCH		WENTWORTH (1922)		SANTO DOMINGO		TERRACON		PETHOLOGICAL		TAMAÑOS M.M.	PHI
	HOPIKINS	ATTERBERG	SOILS (1908)	PUBLICAS (FRANCIA)		1920	1914	1922	1922	1922	1922	1922	1922	1922	1922	1922	1922		
1024																		1024	-10
512		BLOCK																512	-9
256		BOG																256	-8
128																		128	-7
64	GRAVA	STEN	PEBBLE	GUIJARROS	PCOBLE													64	-6
32																		32	-5
16																		16	-4
8																		8	-3
4		GRUS		GRAVA														4	-2
2																		2	-1
1																		1	0
0.5																		0.5	1
0.25																		0.25	2
0.125																		0.125	3
0.0625																		0.0625	4
0.03125																		0.03125	5
0.015625																		0.015625	6
0.0078125																		0.0078125	7
0.00390625																		0.00390625	8
0.001953125																		0.001953125	9
0.0009765625																		0.0009765625	10
0.00048828125																		0.00048828125	11

V.C. = Very Coarse M.G. = Muy grande (para Caras y Bloques)
 C. = Coarse M.G. = Muy gruesa (para Grases)
 F. = Fine G. = Grande de Grasa (para Caras y Bloques u Grases)
 M. = Medium M. = Mediana de Medio (- - - - -)
 V.F. = Very Fine P. = Petite M.P. = Muy Petite M.F. = Muy Fino F. = Fine

Figura 4. Diversas clasificaciones de los sedimentos detríticos (tomado de Mingarro y Ordoñez, 1982, p. 203)

Estas son las clasificaciones que tratan de ordenar los elementos detríticos de una sola especie de tamaño de grano, la situación se complica cuando hay mezclas. En el caso de que sean dos elementos mezclados se ha tomado como regla general un 50 por 100 en peso de los clastos que pueden definir el sedimento:



Algunos opinan que un 10 o un 15 por 100 ya es cantidad significativa sobre todo para la clasificación de las rocas ígneas, sin embargo no se especifica el por qué de este límite. La mayor dificultad la presentan las clasificaciones con tres elementos:

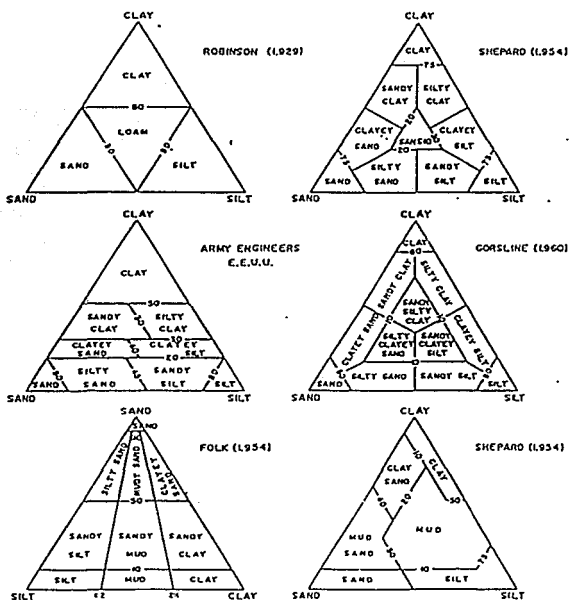


Figura 5. Algunas clasificaciones y nomenclaturas propuestas por diversos autores (tomado de Mingarro y Ordoñez, 1982, p. 204)

Es sorprendente la gran cantidad de clasificaciones que han aparecido, esto se debe a que toman *límites completamente arbitrarios*, para definir clases, pues *no existen límites naturales* entre cada tamaño del grano. Al aumentar el número de elementos para la clasificación la nomenclatura se vuelve cada vez más complicada.

Otro ejemplo es la determinación del grado de redondez de los clastos propuesto por Wadell, en el cual determina el índice de redondez según la expresión:

$$\rho = \frac{\sum \left(\frac{r_i}{R_0} \right)}{N_i}$$

en la que "r_i" representa los radios de las circunferencias coincidentes con las curvas de los vértices del clasto, "R₀" es el radio de circunferencia máxima inscrita en el clasto y "N_i" es el número de circunferencias menores que "r_i" o de vértices.

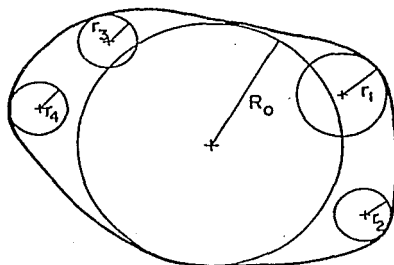


Figura 6. Determinación del grado de redondez de un clasto sobre su proyección.

(tomado de Mingarro y Ordoñez, 1982, p.260)

Con esta forma es muy difícil determinar cuantitativamente la redondez de un clasto, y se convierte en imposible mientras los granos son más finos. Por eso se han elaborado cuadros con siluetas de distintos tipos de clastos, para establecer ópticamente el grado de redondez, pero con este método no se consigue la objetividad que se pretende, ya que cada

persona tomará la silueta *que le parecerá* más adecuada a los granos que observe. Esto demuestra la falta de objetividad que se pretende con estas clasificaciones y que únicamente complican más la comprensión del fenómeno.

A menudo la génesis de la roca o sus características composicionales o de textura sirven para hacer una clasificación más "natural". Por ejemplo, la misma clasificación general de las rocas persigue este factor:

- a) rocas ígneas
- b) rocas sedimentarias
- c) rocas metamórficas

O bien la clasificación siguiente de calizas, basada principalmente en su composición, en donde distingue tres componentes principales:

- a) los aloquímicos
- b) la matriz
- c) el cementante











Principal allochems in limestone	Limestone types				
		cemented by sparite		with a micritic matrix	
skeletal grains (bioclasts)	biosparite			biomicrite	
ooids	oosparite			oomicrite	
peloids	pelsparite			pelmicrite	
intraclasts	intrasparite			intramicrite	
limestone formed in situ	biolithite			fenestral limestone -dismicrite	

Figura 7. Clasificación de las calizas basada en su composición (tomado de Tucker, 1985, p.119)

Estos elementos han sido tomados como límites "naturales" de clasificación. Aquí la clasificación se basa en el contenido de elementos comunes, que están relacionados a determinados medios de depósito, esto se debe a que el autor de la clasificación trata de dar un tinte genético.

Todas estas clasificaciones se originan ante la búsqueda de límites en situaciones donde no los hay y se muestran esencialmente continuas. Como es el caso del tamaño de los granos detríticos, donde hay en la naturaleza una distribución gradual de tamaños, sin límites bruscos, o bien, para utilizar la clasificación ejemplificada, muchas veces en una caliza, no se puede determinar con seguridad cuando deja de ser una intraespatita para ser una pelespatita. Es por eso que cualquier intento de clasificación necesariamente resultará artificioso e insatisfactorio. En cambio, cuando se trata de entidades que por su naturaleza ya están individualizadas, es donde los esquemas de clasificación u ordenación resultan más exitosos y objetivos.

Desafortunadamente en Geología, la mayor parte de los fenómenos a estudiar, son más bien continuos. Lo que se busca es hacer agrupaciones con alguna característica que lo permita, de ahí es donde surgen los problemas planteados. Mientras no se haga conciencia de ésta imposibilidad teórica, simplemente surgirán sistemas más refinados y complicados, pero cualitativamente tan insatisfactorios como los sistemas de clasificación anteriores.

4. CONCLUSIONES

4.1 La Geología aparece como resultado de la búsqueda del hombre hacia el conocimiento de su medio ambiente, como medio de remediar sus necesidades de sobrevivencia. El conocimiento geológico fue apareciendo paulatinamente por observación directa de los fenómenos que ocurren en la Tierra. Con la aparición del principio fundamental del uniformitarismo nace la Geología como ciencia hasta alcanzar su desarrollo actual.

El campo de estudio de la Geología es extremadamente amplio, va de lo submicroscópico con el estudio de los minerales hasta lo planetario con la estructura de la Tierra y de los planetas. Esto hace de la Geología una ciencia muy compleja, característica que influye en la forma de cómo se sistematiza su investigación y conocimiento.

Sin embargo, a pesar de que el campo de la Geología es muy extenso, el geólogo sólo tiene acceso directo a lo que puede observar en la superficie de la corteza de la Tierra, que equivale a menos del 1% del total de la masa terrestre, lo que quiere decir, es que de nuestro planeta no se conoce casi nada.

4.2 Al salir al campo, el geólogo lleva tras de sí una carga de conocimientos y varias hipótesis preliminares de trabajo, que condicionan en gran parte la obtención e interpretación de datos, por lo que todos los datos que se obtienen en el campo no son pura y totalmente objetivos, ya tienen algo de interpretación.

La principal fuente del conocimiento geológico es la observación "vivencial" directa del fenómeno. Por otra parte la experimentación en Geología es muy restringida debido a:

a) En un fenómeno cualquiera intervienen infinidad de variables, muy difíciles de controlar.

b) La mayor parte de los fenómenos son de gran magnitud física y de muy larga duración, que está muy lejos de la escala humana normal de espacio y tiempo.

4.3 La recolección de datos en Geología es de tipo inductivo, a partir de esos datos se obtienen enunciados generales. El hecho de que se obtengan generalizaciones, implica que puede ocurrir un evento diferente a como lo enuncia la generalización, por eso en Geología no se pueden llamar "leyes" a las generalizaciones por la multitud de variables que pueden ocurrir en un fenómeno.

Las generalizaciones enunciadas por la Geología tienen el carácter de "leyes fenomenológicas" debido al hecho de que tiene que haber un grupo de variables *determinadas* para que ocurra un fenómeno *determinado* y establecer la generalización que lo describa.

4.4 En el trabajo geológico muy a menudo se toman modelos para hacer analogías con los fenómenos de estudio. El problema que puede ocurrir es que se tome el modelo como norma absoluta y se haga a un lado al fenómeno, haciéndolo encajar a conveniencia al modelo propuesto, así el modelo puede llegar a ser un estorbo en el trabajo geológico, que impida el conocimiento real del fenómeno.

4.5 Las teorías, como la de tectónica de placas, no son verdades completas, más bien sólo son las que más concuerdan con los datos y son

más coherentes con el conocimiento que existe hasta el presente, al aumentar los datos las teorías pueden modificarse o ser sustituidas por otras que den mejor explicación a los datos, causando una revolución, esto se debe a que el carácter de las teorías es provisional y no definitivo y no deben tomarse como verdades absolutas. De esta forma las teorías son representaciones de acontecimientos del mundo, que pueden cambiar por el aporte de datos nuevos. Esto le da a la Geología el carácter de inacabado y de perfeccionamiento.

En nuestro país muchos geólogos toman aún las teorías geológicas con la idea de que son absolutas, pues se concretan a las reseñas de datos y suponen que todo el armazón teórico de la Geología es perfectamente objetivo. Afortunadamente se está tomado cada vez el considerar la carga de subjetividad cuando se analizan los objetos de la realidad y poco a poco se va teniendo un enfoque de tipo realista.

En el presente, la Geología sostiene sus explicaciones con base en la teoría de la tectónica de placas, después es muy probable que aparezca otra teoría distinta y cambie radicalmente la visión que se tiene sobre el Sistema Tierra. Todas las ciencias son así, cambiantes, pues no se trata de verdades absolutas, ni de dogmas definitivos, la verdad en la ciencia es parcial y siempre hay que estar abiertos a los nuevos datos que se aportan durante las investigaciones.

4.6 En Geología, el trabajo que se realiza principalmente es la *retrodicción*, que consiste en determinar la naturaleza del pasado geológico con datos aportados por el presente. Las predicciones en Geología son restringidas y se pueden hacer en fenómenos que ocurren en la actualidad para determinar sus consecuencias futuras.

4.7 La verdad de un enunciado (generalización, teoría,...) y todo el planteamiento teórico en Geología, no es una verdad completa, ya que la verdad depende del grado de avance de la investigación. Por otro lado la veracidad también varía según el grado de teorización, lo conocido directamente por la experiencia se considera más veraz que lo que se infiere por teorizaciones.

4.8 El concepto de tiempo en Geología ha sido completamente revolucionario, pues ha permitido percibir el tiempo en un continuo que se prolonga indefinidamente hacia el pasado y el futuro.

Por medio de los métodos radioactivos y con ayuda de los fósiles se ha establecido que el tiempo en Geología es como el de los relojes y

calendarios, se ha equiparado al tiempo geológico al tiempo cotidiano humano.

4.9 La correlación por litología es básica para todo trabajo geológico, pero debe tenerse en cuenta que las unidades litológicas son heterogéneas en su mayoría y que los límites laterales y verticales en muchas veces son arbitrarios. Aun cuando se hace la definición de la unidad litológica -la formación- es muchas veces arbitraria.

Para que sea confiable la correlación con fósiles es necesario que haya un buen número de ejemplares y que tengan un grado de conservación suficiente que permita una identificación segura, ya que es muy común en México hacer correlaciones con un par de ejemplares mal conservados.

4.10 Paralela a la concepción del progreso en el aumento del conocimiento en Geología, se encuentra siempre un marco de referencia al cual el geólogo se remite constantemente, tanto en sus observaciones, en la obtención de datos y elaboración de estructuras teóricas; es el paradigma dominante. En el presente el paradigma que sirve de referencia es la teoría de tectónica de placas, la cual a menudo se utiliza como dogma y se ha asumido sin un sentido crítico, ya que la mayor parte de los geólogos de nuestro país, la considera como conocimiento pleno y no se dan cuenta que los paradigmas son provisionales en la medida que se va ampliando el conocimiento.

4.11 Para la transmisión del conocimiento en Geología se ha buscado un vocabulario que sea objetivo, pero la objetividad del lenguaje es muy relativa, pues cada término por sí mismo tiene un contenido a interpretar. Sin embargo creyendo que hay objetividad en el lenguaje se han hecho diccionarios y códigos, que una vez que se traducen a otros idiomas, se tiene que hacer otra interpretación de todos los términos, lo que le resta más de su supuesta objetividad.

Muchos de los términos empleados para la nomenclatura han sido escogidos en forma irracional (como la Charnokita) o en forma metafórica (terreno, bomba,...).

Lo que se debe esperar del vocabulario y de la nomenclatura no es que sea objetivo, sino claro y riguroso, explicado en lenguaje natural y accesible a todos, cosa que falla muchas veces en los trabajos geológicos.

4.12 Las clasificaciones que se hacen en Geología son en muchos casos arbitrarias, sobre todo en los límites entre clases, por eso han proliferado tantos sistemas de clasificación. El fondo de esto es que en la Geología, en la mayor parte de los casos, no existen límites que puedan tomarse como "límites naturales", sino que hay una gradación en todos los órdenes.

Todo esto muestra que las clasificaciones no son tan objetivas como se pretende. El fin de las clasificaciones debe ser el de permitir una mejor comprensión de los fenómenos para la comunicación del conocimiento y no complicarlos como hasta ahora ha venido ocurriendo.

4.13 Es necesario observar que el trabajo geológico no debe orientarse solamente a la extracción de recursos minerales, como se ha venido haciendo hasta ahora, pues cuando la investigación geológica se dirige sólo a este fin, se pasan por alto numerosos datos que pueden aumentar el conocimiento geológico, por eso es tan parcial en muchos aspectos nuestro saber y eso hace difícil forjar un conocimiento que permita el desarrollo de la Geología en México, más aún cuando en nuestro país existen tantas lagunas en este campo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Albritton, C. Jr. ed., 1963, *The fabric of Geology*. Geol. Soc. of Am., Addison-Wesley Publishing Company Inc.

Albritton, C. Jr. ed., 1970, *Filosofía de la Geología*, Cía. Ed. Continental, México.

Anderson, D., 1972, *La falla de San Andrés*, p. 137-153, *in Deriva Continental y Tectónica de Placas*, Sel. de Scientific American 2a. Ed. H.Blume Eds. Madrid .

Artigas, M., 1989, *Filosofía de la Ciencia Experimental*, Ed. Universidad de Navarra, Pamplona.

Artigas, M y Sanguineti, J. J., 1984, *Filosofía de la naturaleza*, Ed. Universidad de Navarra, Pamplona.

- Barbour, I. G., 1971, **Problemas de Religión y Ciencia** Ed. Sal Terrae, Santander.
- Betz, F., 1970, **Comunicación geológica**, p. 245-274, *in* Albritton, C., ed. **Filosofía de la Geología**, Ed. Continental, México.
- Bowen, N. L., 1928, **Evolution of igneous rocks**, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J.
- Bunge, M., 1975, **La Ciencia, su método y su filosofía**, Ed. Siglo Veinte, Buenos Aires.
- Cloud, P., 1970, **Ordering principles in earth history**, *in* Cloud, P. ed. **Adventures in the history of the earth**, San Francisco, W.H. Freeman, p. 3-12
- Chamberlin, T. C., 1897, **Studies for students**, Jour. Geol., V. 5, No. 8, p. 837-850
- _____, 1931, **The method of multiple working hypotheses**, Jour. Geol., V. 39, No. 2, p. 155-165
- Dewey, J., 1972, **Tectónica de Placas**, p.180-193, *in* **Deriva Continental y Tectónica de Placas**, Sel. de Scientific American 2a. Ed. H.Blume Eds. Madrid.
- Drake, L. Ch., 1987, **International geological congresses and Plate Tectonics**, Episodes, Vol. 10, No. 4, P. 235-237
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1978, **¿Estratotipos o secciones tipo?**, Univ. Nal. Auton. México, Inst. Geología, Rev. Vol. 2, No. 2, p. 105-111
- Gadamer, H. G. , 1977, **Verdad y Método**, Sígueme, Salamanca
- Gaylord, G., 1970, **La Ciencia Histórica**, *in* Albritton, C. ed. **Filosofía de la Geología**. Ed. Continental, México, p. 39-69
- Goodman, N. , 1975, **Seguridad, fuerza, simplicidad**, *in* Nidditch, P. H. ed. **Filosofía de la Ciencia**, F.C.E., México, p. 217-220

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Gopalan, K.; Kaushal, S.; Lee-Hu, C. Wetherill, G. H., 1970, **Rubidium-Strontium, Uranium and Thorium lead dating of lunar material**, Science, Vol. 167, p. 471-473
- Griggs, D., 1939, **A Theory of Mountain Building**, Am. Jour. of Science, Vol. 237, pp. 611-650
- Hallam, A., 1983, **Great geological controversies**, Oxford Univ. Press, London.
- Harrington, H. J., 1955, **Geología entre bambalinas**, Ed. Pleamar, Buenos Aires.
- , 1965, **Space, things, time and events -an essay on stratigraphy-**, Am. Assoc. Pet. Geol., V.49, No. 10, p. 1601-1646
- Hempel, C.G., 1973, **Filosofía de la Ciencia Natural**, Alianza Universidad, Madrid.
- , 1979, **La explicación científica, Estudios sobre la filosofía de la ciencia**, Paidós, Buenos Aires.
- Hierro-Pescador, S. J., 1984, **Principios de Filosofía del Lenguaje**, Alianza Editorial, Madrid, 189p.
- Hutton, J., 1795, **Theory of the earth, with proofs and illustrations**, Edimburg, Fascim. reprint, 2 vols, 1959, New York, Hafner
- International Subcommittee on Stratigraphic Classification, IUGS, Commission on Stratigraphy, 1976, **International stratigraphic guide**, H. D. Hedberg, ed., Wiley & Sons, New York.
- Irwin, M. L., 1965, **General theory of clear water sedimentation**, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., V. 49, p. 445-459
- Jeletzky, J. A., 1965, **Is it possible to quantify biocronological correlation?**, Jour. Paleont., V. 39, No. 1, p. 135-140
- Kay, G. M., 1951, **North American geosynclines**, Geol. Soc. of America, Memoir 48.

- Kitts, D., 1970, **Teoría de la Geología**, in Albritton, C., ed. **Filosofía de la Geología**, Ed. Continental, México, P. 71-94
- Koiré, A., 1992, **Del mundo cerrado al universo infinito**, 3a.ed., Siglo XXI eds., México.
- Kuhn, T. S., 1975, **La estructura de las revoluciones científicas**, F.C.E., Madrid.
- Leopold, L. & Langbein, W. B., 1970, **Asociación e indeterminación en Geología**, in Albritton, C., ed. **Filosofía de la Geología**, Ed. Continental, México, p. 233-243
- Long, L. E., 1988, **Geology**, 3rd. edition, American Press, Boston, Massachusetts.
- Mackin, J. H., 1970, **Métodos de investigación racionales y empíricos en la Geología**, in Albritton, C., **Filosofía de la Geología**, Ed. Continental, México, p. 39-69
- Mingarro, F. y Ordoñez, S., 1982, **Petrología exógena I: Hipergénesis y Sedimentogénesis Alóctona**, Ed. Rueda, Madrid.
- Morgan, J. W., 1968, **Rises, trenches, great faults, and crustal blocks**, Jour. Geophys. Research, V. 73, p. 1959-1982
- Newell, N. D., 1962, **Paleontological gaps and Geochronology**, Jour. Paleont. Vol. 36, p. 592-600
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983, **North American Stratigraphic Code**, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., V. 67, No. 5, p. 841-871, 11 figs., 2 tables
- Oliver, J., 1988, **Discovery and innovation in geoscience**, Geol. Soc. of Am. Bull., V. 100, p. 157-159
- Oparin, A. L., 1982, **El origen de la vida**, Ed. Océano, Barcelona.
- Popper, K. R., 1980, **Lógica de la investigación científica**, Ed. Tecnos, Madrid.
- Press, F. & Siever, R., 1974, **Earth**, W.H. Freeman and Co., San Francisco.

- Robson, D., 1986, **Pioneers of geology**, The Natural History Society of Northumbria, Spc. Pub. The Hancock Museum. Newcastle Upon Tyne.
- Serrano, J., 1981, **La objetividad y las ciencias, enfoque epistemológico**, Ed. Trillas, México.
- Silver, L. T., 1970, **Uranium-Thorium Lead isotope relations in lunar materials**, Science, V. 167, p. 468-471
- Sloss, L. L., 1953, **The significance of evaporites**, Jour. Sed. Petrol., V. 23, P. 143-161
- Thomson, W., Kelvin Lord, 1865, **Doctrine of uniformity in geology briefly refuted**, Popular lectures and addresses, Vol. 2, Geology and General Physics, Macmillan & Co., 1894.
- Tucker, M. E., 1985, **Sedimentary petrology an introduction**, Blackwell Scientific Pub., Oxford.
- Von Zittel, K. A., 1901, **History of geology and paleontology to the end of nineteenth century**, Walter Scott, Paternoster square, London.
- Wadell, H., 1938, **Proper names, nomenclature and classification**, Jour. Geol., V.46, p.546-568
- Wartofsky, M. W., 1968, **Introducción a la Filosofía de a Ciencia**, 3a. ed. Alianza Universidad, 2 vols., Madrid.
- Whitehead, A. N., 1925, **The origins of modern science**, in Cloud, P. ed. **Adventures in the history of the earth**, San Francisco, W. H. Freeman.
- Willie, P. J., 1972, **El Manto de la Tierra, p.244-259, in Deriva Continental y Tectónica de Placas**, Sel. de Scientific American 2a. Ed. H.Blume Eds. Madrid.
- Wilson, J. A., 1971, **Stratigraphy and classification**, Abh. hess. L.-Amt. Bodenforsch, V. 60, P. 195-202