

# FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

## CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO. ALGUNOS EJEMPLOS DE GEOCIENCIAS

*The construction of scientific knowledge. Some examples from the Geosciences.*

Luis Marques (\*)

### RESUMEN:

*La comprensión de la evolución del conocimiento científico en Geociencias puede ser encuadrada en la epistemología racionalista. De esta manera, los puntos de vista de Kuhn, Popper y Lakatos pueden ayudar a comprender, por ejemplo, la sustitución que ocurrió en la comunidad científica de las perspectivas fijistas por los movilistas, hoy bien expresadas en la Teoría de la Tectónica de las Placas.*

### ABSTRACT

*Evolution of scientific knowledge in the Geosciences can best be understood taking the rationalist epistemologies as a frame of reference. Proceeding in this manner, Kuhnian, Popperian and Lakatosian points of view can help to understand why mobilism (best represented by plate tectonics) was substituted for fixism among Geosciences practitioners at large.*

**Palabras Clave:** *Conocimiento científico, epistemología, deriva de los continentes, tectónica de las placas.*

**Keywords:** *Scientific knowledge, epistemology, continental drift, plate tectonics.*

## 1. PERSPECTIVAS SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

En el trabajo que se presenta no se efectuará un análisis epistemológico profundo de la construcción del conocimiento, sino únicamente se procederá a un encuadramiento teórico, indispensable para la interpretación de algunas situaciones concretas relativas al desarrollo del conocimiento en Geociencias con implicaciones consideradas relevantes para la enseñanza. Cuando se pretende determinar las características de aquello que es específico en el mundo científico, la dimensión epistemológica es útil a los profesores en la medida que les permite establecer más fácilmente el puente para la problematización de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

### 1.1 Un conocimiento de raíz empirista

El desarrollo del conocimiento científico ha pasado necesariamente por rupturas con el conocimiento de sentido común, el cuál es indisciplinado e inmetódico, no resultando de una práctica específicamente orientada (Santos, 1989). En una primera fase fue entendido desde una perspectiva claramente empirista baconiana, para la cuál la experiencia y la técnica constituyen la base y el objetivo del conocimiento. La Ciencia era de esta manera comprendida como una sucesión de observaciones a

partir de las cuáles se alcanzaban los principios generales a través del razonamiento inductivo, lo que conducía a conocimientos seguros (Praia, 1995).

El desarrollo de las ciencias experimentales desembocó en el positivismo lógico. En éste el hombre encuentra en el conocimiento científico la base de la explicación del mundo real. La articulación adecuada entre la observación y el razonamiento sería el medio para conocer las leyes de los fenómenos y para hacer el encuadramiento de una concepción positivista de la Ciencia, en la que:

- la realidad surge dotada de exterioridad;
- el conocimiento científico es una representación de lo real
- existe dualidad entre hechos y valores
- existe un rechazo evidente de la metafísica
- hay una preocupación real por la unificación de la Ciencia.

De alguna manera puede afirmarse que el positivismo lógico materializa la cúspide de la dogmatización de la Ciencia, lo cuál es una forma de entender la Ciencia como "un aparato privilegiado de la representación del mundo, sin otros fundamentos que las proposiciones básicas sobre la coincidencia entre el lenguaje unívoco de la Ciencia y la experiencia u observación inmediata, sin otros límites que no sean el resultado de un estudio del desarrollo de los instrumentos experimentales o lógico-de-

(\*) Departamento de Didáctica y Tecnología Educativa Universidad de Aveiro. 3800 AVEIRO - PORTUGAL

ductivos" (Sousa Santos, 1989).

De lo anteriormente expuesto puede afirmarse que, para la *familia* empirista, el investigador sale hacia el medio natural con el fin de comenzar su trabajo a través de la observación recogiendo datos objetivos, los cuáles no están encuadrados en ideas apriorísticas, exceptuando las resultantes de la lógica de su pensamiento, avanzando después por inducción. Cualquiera de las perspectivas anteriores se traduce en un cierto dogmatismo científico. Curiosamente a ésta fase de apogeo de la dogmatización de la Ciencia puede contraponerse el inicio de su declive (Sousa Santos, 1989). En otras palabras hemos asistido al movimiento de desdogmatización de las ciencias, el cuál no cesa de crecer, así como a un entendimiento alternativo sobre la forma en que se construye el conocimiento científico.

## 1.2 Una perspectiva de naturaleza racionalista

Trataremos ahora de reflexionar sobre la forma en que ha sido entendida la construcción del conocimiento científico desde una vía postmoderna que, independientemente de la diversidad de puntos de vista, pretende:

- . valorar el referente teórico previo a observación;
- . defender el pluralismo metodológico;
- . mostrar que el avance del conocimiento ocurre por rupturas y discontinuidades más que por vías lineales y acumulativas;
- . redimensionar el papel desempeñado por las situaciones de error;
- . subrayar la importancia que tiene el consenso de la comunidad científica para la validación del conocimiento.

Las posiciones de diversos autores, todos ellos críticos al empirismo *sensum latum*, presentan diferencias sensibles en lo tocante a la forma en que el conocimiento científico evoluciona. Mientras que para unos los criterios definidores de la evolución son exclusivamente internalistas (por ejemplo, lógico-racionales o empíricos), para otros éstos son eminentemente externalistas (por ejemplo, sociológicos). Popper se coloca entre los primeros, Kuhn representa a los segundos y Lakatos manifiesta una perspectiva algo intermedia. Por esta razón nos permitiremos abordar aspectos centrales del pensamiento de cada uno de ellos.

### La tesis refutacionista de Karl Popper

En las primeras décadas del siglo XX fue Popper quien de una forma muy vehemente realizó serias críticas a la perspectiva inductivista de la Ciencia. El conocimiento humano no procede por *inducción debido a que tal concepto por repetición se debe a un error, a una especie de ilusión óptica: en suma no existe inducción por repetición* (Popper, 1975). Paralelamente a la visión probabilística

del inductivismo ha sido contrapuesta otra imagen global de la Ciencia que, por un lado substituye la inducción por la formulación de hipótesis y, por otro, adopta como criterio de cientifidad la falsación en vez de la verificación. La Ciencia no se haría por verificación inductiva, dado que todas las pruebas que se realizan tienen como objetivo la refutación, mejor dicho las tentativas que se hacen en un sistema para probarlo tienen por finalidad encontrarle contradicciones. Aspecto importante, ya que existe la convicción de que solamente es científica la teoría que indica muy claramente las condiciones de su propia refutación. De esta manera los conocimientos que no son susceptibles de formular con claridad las condiciones de su propia falsación no son científicos.

Las hipótesis o conjeturas del conocimiento objetivo que preceden a las observaciones ya son teorías. Las observaciones mencionadas, así como las pruebas experimentales sirven para demostrar que algunas teorías no son corroboradas, lo cuál conduce a la creación de nuevas hipótesis dirigidas a la resolución de problemas. Empieza a quedar claro que la observación no es nunca el punto de partida para el progreso del conocimiento científico, sino que está fuertemente impregnada de teoría, debiendo ser entendida como sugerida por los problemas. Popper (1993) llega hasta afirmar que vivir es resolver problemas.

Tiene sentido, en la secuencia de lo expuesto anteriormente, llamar la atención sobre el papel desarrollado por el error que, en este contexto, es un factor de progreso del conocimiento y un elemento relevante del aprendizaje. En la perspectiva de Popper, la Ciencia es de todas las actividades humanas, aquella en la que el error es más sistemáticamente buscado y con el máximo rigor eliminado (Praia, 1995). Está subyacente a esta *teoría del error* la convicción de la falibilidad humana, así como la capacidad de superarlo sin por ello eliminar completamente tal condición. Otra dimensión que debe tenerse en cuenta es la relevancia de las *experiencias cruciales*, es decir aquellas que ocurren en periodos históricamente decisivos. Se relegan a un plano secundario los periodos, normalmente extensos, en los que ocurre la maduración de gran parte de las ideas científicas. La importancia dada a estos *marcos* ayuda a comprender que estas epistemologías particularmente atentas a las rupturas y a lo que separa las teorías, más que a sus filiaciones y aquello que las une, se presenten como discontinuistas.

### La tesis de los paradigmas de Thomas Kuhn

Kuhn, en su obra *The Structure of Scientific Revolution*, propone una teoría del desarrollo histórico de las ciencias por etapas, en la cuál el conocimiento científico se desarrollaría por saltos cualitativos, no justificados por criterios internos de validez lógica. Olvidando la preocupación por los límites de la cientifidad, Kuhn centra su atención en la descripción de las características de la actividad científica así como en la diversidad de sus procedimientos.

tos. Esto significa que el punto de vista kuhniano, es otra manera de proceder a la desdogmatización de la Ciencia.

Esta visión histórica de la construcción del conocimiento entiende que el desarrollo de las ciencias se hace a través de diferentes periodos o fases: preparadigmático, creación de un paradigma, desarrollo de la Ciencia normal, crisis y revolución científica y comienzo de un nuevo ciclo con otra fase de ciencia normal. En el estadio preparadigmático los fenómenos son analizados a la luz de diferentes teorías. Lo que falta en esta etapa es la existencia de un cuadro conceptual dominante que haga posible un encuadramiento de las investigaciones desarrolladas por todos aquellos que trabajan en una determinada área del conocimiento.

La emergencia del paradigma ocurre a través de la investigación conducente al establecimiento de nuevos conceptos, a la definición de otros métodos, a la identificación de diferentes interpretaciones y a la estructuración de nuevas teorías que se revelen prometedoras en la explicación de los fenómenos así como susceptibles de apuntar a otros tópicos de investigación. De alguna manera a medida que se entra en el período de ciencia normal, el paradigma va siendo visto con progresiva credibilidad, ya que revela potencialidades para explicar observaciones, experimentaciones y para encontrar otros espacios de intervención. Se trata de un estadio en que la comunidad científica va resolviendo problemas dentro de una cierta tranquilidad teórica. La actividad de la comunidad se centra en tres aspectos:

- . identificar los hechos significativos en un cierto espacio paradigmático;
- . procurar la articulación de los hechos con la teoría;
- . garantizar el rigor y la precisión de la teoría.

Debe subrayarse que este estadio solamente es alcanzado cuando existe consenso en la comunidad, ya que es únicamente a ésta a quien compete definir el desarrollo científico, así como su valoración y legitimación social.

Cuando el paradigma *pasa a revelarse como una fuente última de problemas e incongruencias y el universo científico que le corresponde se convierte poco a poco en un complejo sistema de errores, en el cual nada puede ser pensado correctamente* (Sousa Santos, 1989), se aproxima una situación por ruptura. No obstante, la simple situación de anomalía y algunas incapacidades explicativas de un paradigma no conducen necesariamente y de inmediato a su sustitución. Desde que se instala la crisis hasta que la sustitución ocurre, es indispensable comenzar a diseñar consensos en la comunidad científica que vengan a materializarse en la adopción de un nuevo paradigma porque desechar uno sin que simultáneamente aparezca otro como alternativa bien definida, es desechar la propia Ciencia (Kuhn, 1974).

Es de subrayar que en la génesis de esta modificación está todo un proceso mutacional y no un me-

canismo acumulativo, en la medida en que la teoría que el nuevo paradigma propone no sólo posee un marco interpretativo mayor, sino que también introduce una ruptura entre ambos. Efectivamente *los paradigmas proporcionan a los científicos, no sólo el mapa, sino también algunas directrices esenciales para la realización de un mapa. Al asumir un paradigma, el hombre de ciencia adquiere simultáneamente una teoría, un método así como unos criterios de juicio, y esto en general en una intricable mezcla. Por eso las modificaciones de paradigma implican en general un significativo desplazamiento de los criterios que determinan la legitimidad de los problemas así como de las soluciones propuestas* (Kuhn, 1974).

Al rechazar la búsqueda de principios racionales universales para la evaluación de una teoría, la propuesta kuhniana valora una racionalidad histórica, social y cultural. Se trata en términos epistemológicos de una visión claramente discontinuista, ya que la ruptura afecta no sólo a la teoría sino al propio modo de pensar en el mundo. Es igualmente una perspectiva no acumulativa, ya que cada nueva teoría no es necesariamente más correcta que la anterior sino otra manera de ver el mundo. Finalmente se nota una inclinación externalista, una forma de encarar la Ciencia como actividad humana que para ser comprendida necesita ser insertada en un contexto en el que la estructura social, el modo de producción y los sistemas culturales son importantes.

#### ***La tesis de los programas de investigación de Imre Lakatos***

Influido por Popper y Kuhn, Lakatos plantea otra perspectiva del desarrollo del conocimiento científico. Su análisis se centra en el concepto de Programa de Investigación y de falsación sofisticada. En un programa de investigación se tendrían que considerar tres componentes: núcleo duro, heurística positiva y heurística negativa (Lakatos, 1971). El núcleo duro está constituido por un conjunto de ideas generales, algunas de las cuáles se afirman como inalterables a lo largo del programa y no siempre son explícitamente enunciadas. Paralelamente existirían otras, hipótesis auxiliares, susceptibles de ser sustituidas.

La heurística positiva de un programa de investigación es *el soporte del científico que le impide dejarse confundir por el océano de anomalías... la atención del científico es estimulada para desarrollar modelos basados en la parte positiva de su programa... ignora los contra ejemplos* (Lakatos, 1993). Estaría formada por un conjunto de reglas metodológicas susceptibles de envolver las hipótesis, generalizaciones e ideas que deben ser probadas. De esta manera cuando una teoría vacila y falla en su capacidad de resolver problemas, la heurística positiva, señala las líneas orientadoras que se deben seguir para su modificación. La heurística negativa consiste en la orientación de las investigaciones a evitar. El crecimiento del conocimiento ocurre a través del progresivo desarrollo de teorías que de

alguna manera protegen el núcleo duro.

Por falsacionismo sofisticado se entiende la forma como el conocimiento científico va avanzando. De esta manera la sustitución supuestamente más completa implicará que:

. La nueva teoría sea apoyada por un significativo número de datos empíricos que permitan un determinado conjunto de deducciones que no era posible hacer con la anterior;

. La nueva explica todas las situaciones que eran resueltas empíricamente por la anterior;

. Todas las afirmaciones de la nueva teoría puedan ser empíricamente fundamentadas.

Para Lakatos es importante fomentar la competencia saludable entre programas porque va a permitir determinar progresos del conocimiento a través del desarrollo de la madurez de lo que es más adecuado. Esta madurez permite prever hechos nuevos y nuevas teorías aseguradas por una unidad teórica. Tal desarrollo permitirá llevar a cabo una progresión de teorías cada vez más perfeccionadas, que pueden dar origen a nuevos modelos teóricos, los cuáles se verifican al ser apoyados por hechos empíricos -programa de investigación científica progresivo-.

La perspectiva de Lakatos supone abandonar el ideal de periodos revolucionarios, debiendo antes considerarse la competencia entre programas progresivos y regresivos como indicadores del progreso racional. Evidentemente el programa regresivo resulta sucesivamente más obsoleto y mientras persista será apoyado por una estrategia eminentemente defensiva. Lo que en esta perspectiva está en causa son las confirmaciones positivas y no las confirmaciones negativas como proponía Popper. Según Lakatos las experiencias cruciales no son suficientemente fuertes para hacer que un programa de investigación se sobreponga a un rival suyo, porque *las experiencias cruciales sólo son entendidas como tal muchas décadas más tarde* (Lakatos, 1993). Uno de los aspectos más curiosos de la perspectiva lakatosiana está relacionado con la forma muy integrada, articulada y secuenciada en la que se procesa el desarrollo del conocimiento.

## 2. PERSPECTIVAS SOBRE EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN GEOCIENCIAS

Se procuran ahora interpretar, a la luz de las consideraciones teóricas anteriores, algunos aspectos de la evolución del conocimiento en Geociencias en las últimas décadas. Concretamente se referirán ciertas tensiones filosófico-epistemológicas que se desarrollarán durante el prolongado periodo (varias décadas) entre diferentes controversias que convergieron finalmente en la formulación de la Teoría de la Tectónica de las Placas. Todo esto basado en el supuesto que los fundamentos teóricos de las Ciencias de la Tierra están basados en especulaciones sensatas avanzadas con mucha creatividad y

en que el propio conocimiento científico es siempre más susceptible de refutación que de confirmación y prueba (Popper, 1963). Los comentarios efectuados muestran a las Ciencias de la Tierra como una ciencia moderna en la que la actividad de investigación se presenta como un proceso continuo de aproximación gradual a sus grandes objetivos, independientemente de que puedan o no alcanzarse plenamente (Lakatos, 1970). Están en cuestión procesos dinámicos complejos y no una sencilla adición de conocimientos que supone su ordenación, preservación y difusión por repetición.

### 2.1 Del fijismo a la teoría de la deriva de los continentes

Independientemente de que una interpretación kuhniana sea explicativa, por lo menos de ciertas fases de la evolución del conocimiento en Geociencias, se debe indicar que cuando se analiza el desarrollo de las Ciencias de la Tierra a partir, por ejemplo, de mediados del siglo XIX, es posible encontrar situaciones que no dejan de aproximarse a una perspectiva popperiana y hasta lakatosiana. Es difícil por ejemplo concluir, de acuerdo con Kuhn (1970), que la comunidad geológica de 1850 a 1950 ha sido dominada por un paradigma, aunque hubiese conciencia del predominio de una cierta ortodoxia. De hecho el estudio de la Geología en el siglo XIX, revela una competencia quizá saludable entre diferentes puntos de vista del mundo natural, tales como Neptunismo y Diluvialismo, Fijismo, Contraccionismo, Plutonismo, Deriva, Movilismo y hasta Expansionismo. Explicaciones de esta situación incluyen por un lado, la idea de que las Ciencias de la Tierra, y en particular la Geología, se encontraban en un estado preparadigmático (Kuhn, 1970) por otro la perspectiva de que durante el periodo de 1850 a 1950 la comunidad científica ha ido separándose en microespecialidades, que por tanto no conseguían tener una visión holística de la naturaleza ni, en última instancia, de la forma en que el mundo "funcionaba".

La falta de una perspectiva integrada y el predominio de una visión sectorial limitada a ciertas áreas particulares de las Ciencias de la Tierra, tuvieron consecuencias interesantes que alimentaron la discusión entre los Fijistas y Movilistas durante un largo periodo de tiempo. Los investigadores intentaron, en vez de potenciar el papel de falsación como principio epistemológico y de crítica científica (Popper, 1963), confirmar y verificar sus puntos de vista. Surge entonces Wegener, quien en 1912 anticipó su primera teoría de la Deriva de los Continentes. La introdujo partiendo del principio que tal teoría no tenía antecedentes y que estaba de acuerdo con los resultados obtenidos por la investigación científica en diversas áreas. Además sería capaz de congrega un gran número de conocimientos relativos a la isostasia y a la radiactividad, yendo al encuentro de soluciones para diversos problemas aún no resueltos y presentando la posibilidad de que pudieran confirmarse en el futuro (Popper, 1993).

Ciertas dificultades sentidas por Wegener, oriundas de un modelo conceptual fijista o contraccionista, pueden ser interpretadas a través de un análisis lakatosiano. Dos ideas básicas, entonces inquestionables, merecen ser aquí mencionadas:

- El posible enfriamiento continuo de la Tierra, ya defendido anteriormente por Buffon en el siglo XVIII, fue recogido y cuantificado por Lord Kelvin.
- La costa continental y las cuencas de los fondos oceánicos (como consecuencia del principio del actualismo de Lyell) tuvieron su origen en el inicio de la formación de la Tierra, no habiendo modificado posteriormente sus posiciones.

Estos puntos constituirían de alguna forma el núcleo duro (Lakatos, 1970) del modelo explicativo fijista que era necesario mantener a toda costa. La teoría de la Deriva de los Continentes procura encontrar un compromiso entre esa visión contraccionista y la perspectiva fijista. Partiendo de la hipótesis de que los continentes no están profundamente enraizados en el interior de la Tierra, fluctuarían sobre el manto constituido por material más denso. De esta manera los continentes se colocaban como "barcos" síalicos que deslizan en un "océano" simaico. Para fundamentar esto, Wegener (1929) sugirió y estableció relaciones plausibles entre hechos dispersos (articulación entre los taludes continentales, relación entre los registros paleontológicos en diversos continentes) hipótesis diferentes (justificación para los ciclos transgresivos y regresivos, interpretación sobre la edad de los océanos), áreas disciplinares distintas (paleontología, climatología, geodesia) de manera que iniciaba un nuevo "programa de investigación" (Lakatos, 1970). Éste es al final un conjunto de teorías interconectadas y susceptibles de progresiva y continuada sustitución e inclusión de las formas anteriores. Su evaluación no consistirá por esta razón, tanto en el juicio hecho a una única teoría sino más bien a una sucesión de teorías. De otro modo Du Toit (1937) escribía que la Deriva representaba una visión holística de la Geología y debería ser juzgada como un todo unitario y no como una serie de datos de origen diverso y desligado.

La teoría de la Deriva de los Continentes se desarrolló a través de la reformulación y articulación progresiva de diversas contribuciones (Wegener, Taylor, du Toit, Holmes...) que se fueron estructurando para mejorar el nuevo "programa de investigación" esto es para aumentar de forma substancial su grado de madurez. Así todo este grupo responsable de la tesis movillista, no siguió la metodología falsacionista de Popper (1963). Wegener (1960) por ejemplo, consideró haber seguido un método científicamente "correcto". Argumentó entonces que, de forma inductiva, había demostrado la ocurrencia de la deriva y entendió que había confirmado experimentalmente sus previsiones sobre la deriva de Groenlandia con respecto a Noruega.

Sin embargo, la propuesta de Wegener acabó por ser ignorada principalmente por físicos y geofísicos durante los años 30, pero también cayó en el olvido

de un buen número de geólogos, principalmente de los norteamericanos. Se podrá decir que fue recibida por parte de la comunidad científica con alguna hostilidad, como revelan las intervenciones hechas en el Simposio de la AAPG en 1928. En éste se llegó a afirmar que si la Deriva hubiese sido aceptada entonces gran parte de la fundamentación teórica de la Geología claudicaría lo que causaría una comprensible e indeseable ansiedad. Razones de diverso orden pueden señalarse:

- Los conservadores procuran superar sus propias insuficiencias a través de formulaciones auxiliares, o mejor de argumentos que contribuirán a fortalecer sus puntos de vista integrados en un determinado programa de investigación (Lakatos, 1970). Están lógicamente fundamentadas siempre en sus perspectivas ortodoxas (por ejemplo la existencia de puentes entre los continentes, "landbridges", en diferentes épocas para justificar la "incómoda" distribución fósil), en vez de aceptar el desafío falsacionista.

- Los puntos de vista que prevalecieron, fijistas, aunque no completamente satisfactorios, proporcionaban explicaciones aceptables a las preguntas que los movillistas iban suscitando sobre la nueva teoría en construcción.

- La incapacidad para justificar de forma creíble, los mecanismos responsables del desplazamiento de las porciones continentales, se podría decir que ayudaban a mantener firme el núcleo duro fijista, en la medida que tampoco aparecía un modelo explicativo estructurado y alternativo.

- La convicción de que el Uniformitarismo de Lyell estaba amenazado y el catastrofismo resucitado.

- El contexto social en que se desarrolló todo este proceso, en el cuál la reacción a las propuestas movillistas no eran una simple cuestión de apreciación de hechos sino más bien de innumerables conjeturas de naturaleza conceptual. En numerosos departamentos de Geología poseían vigor perspectivas perfectamente fosilizadas (Le Grand, 1988). Todavía no estaba muy próximo el establecimiento del consenso en la comunidad científica, indispensable para la viabilidad de un nuevo paradigma (Kuhn, 1970).

Los puntos referidos, especialmente el último, se encuadra en una perspectiva kuhniiana, particularmente en una fase de "ciencia normal" aquí de naturaleza eminentemente fijista. Puede así decirse que el debate de la Deriva, no se centró en los hechos, tampoco en la forma en que éstos se articulaban, ni en las metodologías usadas. La discusión se extendió a la interpretación de las teorías más globales, ésta interpretación se basó en las "evidencias" resultantes de las concepciones con que la comunidad científica estaba familiarizada. Los aspectos culturales y sociales, que encuadraban el desarrollo de las ideas ilustran el fuerte impacto de estos componentes en la construcción y desarrollo de las ideas científicas. Se puede afirmar que el conocimiento científico es también un acontecimiento social, como referiremos más adelante y en absoluto una construcción objetiva.

Los aspectos señalados anteriormente son marcos del desarrollo del conocimiento en Geociencias pero también revelan el modo como avanzó una particular revolución científica en el sentido de Kuhn, pensando en la sustitución de una visión fijista por una movilita debidamente fundamentada y por consiguiente creíble, siempre supeditada a la refutación. Viejos conceptos fuertemente enraizados y correspondientes a diferentes áreas del conocimiento han sido, aunque con dificultades, progresivamente abandonados. De hecho las nuevas interpretaciones e hipótesis creadas, que confluyeron mucho más tarde en la Teoría de la Tectónica de las Placas, incluyeron una panoplia de áreas disciplinares, articuladas gracias a una cooperación más o menos planeada de investigadores e instituciones de todo el mundo.

## 2.2 De la teoría de la deriva de los continentes a la tectónica de las placas

El interés por la problemática de la Deriva de los Continentes, se estancó en los años 30 y 40 decayendo especialmente en Estados Unidos y hasta en Inglaterra. La cuestión hasta fue objeto de ironía, cuando un profesor de paleontología de Harvard dijo haber encontrado la mitad de un fósil en Irlanda y la otra mitad en Estados Unidos lo que confirmaba que el Océano Atlántico habría resultado de la separación de los continentes americano y europeo (Gould, 1980). Curiosamente fue a través del conocimiento de los registros de las anomalías magnéticas a partir de los fondos oceánicos que "la fase de la revolución científica" empezó a sentirse. De hecho para los geofísicos, la Deriva tenía potencialidades para armonizar las divergencias entre las curvas de deriva polar relativas a los diversos continentes. La expansión de los fondos oceánicos posibilitaba la comprensión de la existencia de bandas magnéticas inversas y normales. Es verdad que bien según Kuhn (1970), bien según Lakatos (1970) las potencialidades de un "paradigma" o de un "programa de investigación" respectivamente radican en su capacidad para dar respuestas creíbles a la aparición de nuevos problemas. De esta manera, la noción de expansión de los fondos de Hess (1968) ha contribuido de forma muy significativa a la conjunción armoniosa de las partes de un "puzzle" que aparentemente se encontraban dispersadas y por consiguiente a la resolución de algunas de las anomalías que iban surgiendo.

La secuencia de pruebas a que fue sometido el concepto de expansión de los fondos oceánicos puede ser entendida como un proceso de refutación en el sentido de Popper (1963), ya que la intención de las diversas tentativas era llegar a resultados que contradijesen la hipótesis. Veamos las fuentes que contribuyeron a las sucesivas pruebas, así como la respectiva cronología:

Las interpretaciones de Vine y Matthews (1963) sobre las bandas magnéticas registradas en el fondo de los océanos.

La prueba de Tuzo Wilson sobre la edad de las islas volcánicas distribuidas en el Atlántico (1965).

La interpretación sobre la naturaleza de las fracturas encontradas en los fondos de los océanos (Revelle, 1969).

La variación del flujo del calor proveniente del interior de la Tierra a partir de la cresta media oceánica (Sclater e Francheteau, 1970).

Al considerar ahora lo que pasó, a medida que la Teoría de la Deriva de los Continentes de Wegener se fue desarrollando hasta llegar a la Teoría de la Tectónica de Placas, se verifica que todo el proceso parece estar más de acuerdo con el "sofisticado falsacionismo" de Lakatos (1970). De hecho la sustitución del modelo explicativo no ocurrió por la simple confrontación con hechos contradictorios aislados, sino únicamente cuando surgió una alternativa creíble. Además, tal alternativa integraba situaciones ya resueltas por el modelo anterior, no habiendo un corte abrupto con respecto al conocimiento previo. Proponía soluciones creíbles para los problemas todavía no solucionados y hacía una previsión para situaciones aun no contempladas. Ya ha sido referido que a la luz de una epistemología racionalista, contribuyen a la construcción del conocimiento un conjunto de diversificados aspectos internalistas y externalistas, que van desde la forma como se procesa la discusión en la comunidad científica hasta el papel que tiene la sofisticación tecnológica progresiva, al permitir una mirada diferente para la misma realidad, pasando por las cuestiones específicas de la comunidad y de la relación entre personas. Se procederá ahora a la apreciación de alguno de estos aspectos con relación al tema de Geociencias en discusión.

### Discusión interdisciplinar

Durante el largo período de controversia acerca de la Deriva, dos dimensiones relacionadas con el papel desempeñado por las diferentes áreas de conocimiento resultaron importantes. Por un lado, geólogos compitieron con geofísicos y por otro, paleontólogos argumentaron con especialistas de Geología estructural. En el comienzo del siglo, los geofísicos a pesar de apoyar la isostasia, no aceptaban el desplazamiento de los continentes (Thompson, 1991). Buena parte de los geólogos por otro lado, estaba preocupada con el conocimiento geológico local (interpretado a la luz del Uniformitarismo) y menos interesada en una explicación global, que creaba conflictos con especialistas de otros dominios y hasta entre ellos. Físicos y geólogos estructurales, si bien con algunas excepciones como por ejemplo Argand, no podían aceptar que la deformación de la corteza y la formación de montañas, fuese consecuencia de la dislocación de los continentes, debido a la magnitud de las fuerzas necesarias para realizar esta tarea. La posición de los paleontólogos y biogeógrafos al entender que la Deriva les podría proporcionar interesantes respues-

tas en sus áreas de responsabilidad, puede ser vista como una contribución al debilitamiento de las posiciones fijistas. Es que si las fuerzas que Wegener invocaba como responsables del desplazamiento de los continentes eran totalmente inadecuadas, la idea de la deriva no lo era...

### *La relevancia de las relaciones personales*

Si es verdad que las teorías se desarrollan según "programas de investigación" o "paradigmas", también vale la pena señalar el importante papel desempeñado por la cooperación entre grupos de investigadores. Esto muestra que la construcción del conocimiento científico tiene una fortísima connotación social (Kuhn, 1970). Será posible admitir que la falta de una cooperación internacional apropiada durante la primera mitad del siglo, favoreciera la persistencia de la visión fijista. Vale la pena llamar la atención sobre la particular relación establecida en Cambridge, al comienzo de la década de los 60, entre tres eminentes científicos: J. Tuzo Wilson, Harry Hess y Edward Bullard. El Departamento de Geofísica les proporcionó encuentros sistemáticos que tuvieron repercusiones significativas, particularmente porque ocurrieron en un período importante de sus carreras académicas. Estas discusiones ayudaron a establecer provechosas comparaciones entre datos geofísicos y diversos hechos e interpretaciones geológicas.

Robert Dietz y Harry Hess son otro ejemplo de cooperación. Con su experiencia de petrólogo especializado en rocas ultrabásicas, Hess propuso que las áreas de mayor temperatura se encontrarían en la dorsal centrooceánica, en donde los magmas serían formados y expelidos sobre las células de convección. Se estableció de igual manera la articulación entre dorsales y fosas, dorsal oceánica y corrientes de convección, volcanes y seísmos así como con la edad de las rocas, todo esto integrado en un modelo en el cual la génesis del fondo de los océanos, asumiría un papel decisivo. Hess, además de hablar sobre sus perspectivas altamente especulativas en seminarios y tribunas, las debatió extensamente con Robert Dietz (Hess, 1968). Dietz como hidrólogo que era, pensó seriamente sobre toda esta problemática, pero con una base diferente. Reanudó la cuestión, partiendo de los datos proporcionados por la batimetría. El modelo de Hess sobre el origen del fondo del mar reforzó y complementó el modelo batimétrico de Dietz, apoyándose mutuamente.

La afinidad personal de Vine y Matthews puede servir para ilustrar las virtualidades que tienen en ciencias los grupos con buenas relaciones. Cuando Vine era un joven investigador en Cambridge, trabajando bajo la supervisión de Matthews, contactó con Hess y con la hipótesis de la separación de los fondos oceánicos. Su supervisor muy bien informado acerca del asunto en discusión, le sugirió una investigación detallada del modelo magnético del fondo de los océanos en la región NW del Océano Índico. La realización de esta tarea fue conocida a través de una publicación en la revista Nature

(1963). Aquella hipótesis fue posteriormente mejorada por Vine y Wilson a partir de la estimación de los límites de la tasa de separación del fondo del océano. La idea se dio a conocer a través de las discusiones ocurridas durante el fructífero período de licencia sabática de Hess en Cambridge.

### *Papel relevante del desarrollo tecnológico*

Podría preguntarse por qué la Teoría de la Tectónica de las Placas apareció tan tardíamente. La importancia del desarrollo tecnológico deberá ser tenida en cuenta. Las informaciones llave para el establecimiento de este modelo global tuvieron su origen en el fondo de los océanos. Ciertamente las metodologías del trabajo de campo usadas por los geólogos para estudiar los continentes no eran aplicables a los fondos de los océanos, ya que éstos no podían ser observados de cerca. Fueron muchos los datos recogidos por la investigación efectuada en el dominio militar durante y después de la 2ª Guerra mundial que condujeron al perfeccionamiento del conocimiento de los fondos de los océanos. Desarrollos tecnológicos relacionados con la mejora de la sensibilidad del sonar de los gravímetros, de los magnetómetros, de los sismógrafos con un perfeccionamiento del registro de las ondas sísmicas y de la detección de las explosiones nucleares, contribuirían conjuntamente a mejorar el entendimiento relacionado con la naturaleza de los fondos de los océanos y a partir de ellos también de las capas más exteriores de la Tierra (Le Grand, 1988).

Las nuevas técnicas radiométricas han sido en los inicios de los 60 (Glen, 1982) otro soporte relevante. Jhon Reynolds, en la Universidad de California en Berkeley, construyó un espectrómetro de masas que contaba isótopos con extraordinaria exactitud. Este aparato permitió la datación de las rocas por el método K-Ar, lo que supuso una contribución notable en una área hasta entonces no contemplada. Esta técnica fue usada en muchos otros departamentos de diversos países del mundo, por ejemplo el de Geología de la Universidad de Coimbra en Portugal. Nadie en Berkeley pensó, por lo menos originalmente, usar el método para construir una escala de tiempo de polaridad magnética, como finalmente sucedió a finales de los años 60. Contactos entre geólogos, físicos y geofísicos contribuyeron a la construcción de una escala de tiempo magnética, sin el cual no habría sido posible la interpretación de las anomalías magnéticas en los océanos.

### *Importancia del lenguaje y significado de la comunicación*

Desarrollar hábitos de comunicación es importante para cualquier científico, teniendo en cuenta que la Ciencia posee una fuerte dimensión social. La comunidad científica está generalmente muy interesada en conocer lo que cada científico dice. Existen reglas relacionadas con el estilo en deben presentarse las ideas. Es necesario reflexionar si lo

que se escribe se encuentra de alguna forma fuera de lo que es la experiencia científica común de la comunidad. La idea que subyace a las cuestiones formuladas es la importancia de saber si el lenguaje escogido para comunicar, es o no el más adecuado al público al que se dirige. Wegener escribió en alemán, lo que constituyó un obstáculo a la difusión e interpretación de sus puntos de vista. Diferente hubiera sido si la lengua usada hubiese sido el inglés.

Cuando se recuerda la visión Kuhniana de "revolución científica" se acepta que nuevas y viejas teorías son, no sólo incompatibles sino igualmente inmensurables, exigiéndose una "traducción" de los "lenguajes" usados so pena de no poder ser comparados, atendiendo a los referentes en que se sitúan. Esto ayuda a comprender que durante el auge de la controversia sea difícil la relación entre los partidarios de la visión antigua y los de la perspectiva nueva. Sin embargo para el seguimiento de la dinámica de la construcción del conocimiento es de suma importancia una comunicación entre las contribuciones integrantes de la perspectiva nueva, asentada en bases racionales. De esta manera, por ejemplo el fijismo, no fue rechazado simplemente por la aparición de hechos contradictorios, sino únicamente cuando se cimentó y desarrolló un discurso coherente que aglutinó de forma articulada los datos que tuvieron orígenes diversos.

Los puntos anteriores revelan que ciertos pasajes relativos al desarrollo del conocimiento en Geociencias son peor entendidos a la luz del paradigma revolucionario de Kuhn que por la secuencia de refutaciones de Popper, y quedan mejor encuadrados en un proceso sustentado en la competencia entre teorías opuestas avaladas por datos empíricos que encontraron aceptación en la comunidad científica (Engelhardt y Zimmermann, 1988). En otras palabras el progreso científico parece procesarse en estos casos a través del desarrollo de "programas de investigación" (Lakatos, 1970). En síntesis puede decirse que:

- Las hipótesis de Wegener fueron rechazadas porque se pensaba, por lo menos antes de los años 60, que sería posible responder a las anomalías por el subrayadas a través de un ajuste en las perspectivas ortodoxas que se encontraban en vigor (Engelhardt y Zimmermann, 1988). Sin embargo en el corto espacio de algunos años las ideas más ortodoxas hubieron de ser abandonadas.
- Toda la interpretación de los acontecimientos a la luz de los viejos conceptos ha sido mejor explicada por la Tectónica de las Placas. Diversas hipótesis que surgieron de la nueva teoría serían probadas ulteriormente a través de una práctica de experimentación. A título de ejemplo se cita la expansión de los fondos oceánicos que fue analizada desde varios puntos de vista, a la manera de la refutación popperiana. Se hizo posible prever un cierto número de situaciones, como por ejemplo las áreas de mayor actividad sísmica, a partir de los principios que integran la nueva teoría.

- En alguna de las etapas de la elaboración de la Teoría es posible ver reflejadas las fases de ruptura con el conocimiento anterior, como es sugerido por la perspectiva discontinuista kuhniana de la construcción del conocimiento. Sin embargo, en otras fases, los puntos de vista continuistas de Lakatos resultan más capaces de interpretar la sucesión de los acontecimientos
- El falsacionismo de Popper, implícita o explícitamente, subyace a las hipótesis de trabajo expuestas por algunos geólogos. Tales hipótesis fueron sucesivamente probadas, ganando forma una más fundamentada comprensión científica del modo de funcionamiento de la Tierra, particularmente de sus zonas externas.
- Ha sido posible valorar el contexto social y cultural en el cuál el trabajo científico se desarrolló, permitiendo así conocer la importancia de estos aspectos en la construcción del conocimiento.

### 3. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Acabamos de ver que la construcción del conocimiento, independientemente del área disciplinar en que nos coloquemos, es una tarea no terminada que recibe contribuciones muy diversificadas, no incluidas en las informaciones recogidas. Tiene en cuenta la participación activa del sujeto y la comunidad científica que, en última instancia, valida el propio conocimiento. Es una tarea de los profesores contribuir decisivamente al desarrollo del alumno como ciudadano informado acerca de la naturaleza del mundo físico que le rodea. Es deseable su crecimiento como persona científicamente culta que, de esta manera, pueda comprender satisfactoriamente el propio proceso de evolución del conocimiento. Desde esta perspectiva, la información estricta del contenido más o menos exhaustivo de los *item* programáticos no es suficiente, sino que es deseable que los profesores incluyan en su formación una reflexión sobre la dimensión epistemológica y adquieran una perspectiva más amplia acerca de la evolución histórica de los diversos contenidos abordados. El marco referido, correspondiente a uno de los temas más relevantes de la construcción del conocimiento geológico, permite subrayar algunos aspectos que si son contemplados en las estrategias de enseñanza de los profesores, facilitarán un aprendizaje más significativo. Como referencias más destacadas se eligieron las siguientes:

- Las largas controversias, a veces muy vivas, dentro de la propia comunidad científica de los especialistas en las Ciencias de la Tierra.
- Aspectos de naturaleza sociológica referentes a los investigadores, de los cuáles no pueden ni deben desprenderse.
- La comprensión de los paradigmas utilizados, sus fundamentos y las enormes dificultades de modificación.



- El desarrollo tecnológico y su repercusión en la subida de diferentes niveles de conocimiento.
- La necesidad de construir hipótesis que surjan de un conjunto de ideas diversificadas y de hechos que, dependiendo de la forma en que se formulan, son susceptibles de sufrir más una refutación que su confirmación.
- Las Discusiones interdisciplinarias serán tanto más fructíferas cuanto más participativas y cuidadosamente fundamentadas estén.
- Entender que los modelos explicativos elaborados son necesariamente limitados en sus propuestas y deberán estar permanentemente abiertos a la innovación y al cambio.
- Comprender que los modelos explicativos tienen una escala propia de intervención y no revelan su potencialidad para resolver cuestiones substancialmente distintas;
- La relevancia del papel de la historia de la construcción del conocimiento científico como factor facilitador de la comprensión de su evolución y de la influencia de sus reflejos en la comunidad humana.

## BIBLIOGRAFIA

- Du Toit, A. L. (1937) *Our Wandering Continents*. Edinburgh, Oliver & Boyd.
- Engelhardt, W. Von and Zimmerman, J. (1988). *Theory of Earth Science*. Translated by Leonor Fischer. Cambridge, Cambridge University Press.
- Glen, W. (1982). *The road to Jaramillo*. Stanford, Stanford University Press.
- Gould, S.J. (1980). *The Panda's Thumb; more reflections on Natural History*. New York: W.W. Norton.
- Hess, H. (1962). History of Ocean Basins. In Engle, E. A. J. (Eds.). *Petrologic Studies*. 559-602.
- Hess, H. (1968). Reply. *Journal of Geophysical Research*. 73, 65-69.
- Kuhn, T.S. (1970). *The structure of scientific revolution*. Chicago, University of Chicago Press.
- Kuhn, T.S. (1974). Replies to Critics in I. Lakatos and A. Musgrave (Eds.) *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of science in research programmes. In I. Lakatos and A. Musgrave, Eds, *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Lakatos, I. (1971). History of science and its rational reconstruction, In *Boston Studies of the Philosophy of Science*, VIII, 92 pp.
- Lakatos, I. (1993). La Metodología de los programas de investigación científica. 2ª Ed. Alianza Editorial. Madrid.
- Le Grand, H.E. (1988). *Drifting continents and shifting theories*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Praia, J. (1995). *Formação de Professores no ensino da Geologia: Contributos para uma Didáctica fundamentada na epistemologia das Ciências. O Caso da Deriva Continental*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Popper, K.R. (1963). *Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge*. London, Routledge and Kegan Paul.
- Popper, K.R. (1975) *Conhecimento objectivo. Uma a bordagem evolucionária*. Edt. Itatiaia. São Paulo
- Popper, K.R. (1992) *O Realismo do Objectivo da Ciência*. 2ª Ed. Publicações D. Quixote. Lisboa.
- Santos, M. E. (1989). *Para uma pedagogia da mudança conceptual. Estudo de orientação epistemológica*. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.
- Sclater, J.G. e Francheteau, J. (1970). The implications of terrestrial heat flow observations on current tectonic and geochemical models of the crust and upper mantle of the Earth. *Geophysics Journ. Res. ast. Society* 20, 509-42.
- Sousa Santos, B. (1989) *Introdução a uma ciência pós-moderna*. Edições Afrontamento. Lisboa
- Thompson, D. B. (1991). *Plate Tectonics - A Revolution in Science*. Unpublished course notes, Keele. Keele Science & Technology Teachers' Centre.
- Vine, F.J. e Matthews, D.H., (1963). Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature* 199, 947-9.
- Wegener, A. (1966). *The Origin of Continents and Oceans*. London, Methuen & Co Ltd.
- Wilson, R.C.L. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, London, 207, 343-7. ■