

PROBLEMAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DEL TEMA MECANISMOS FOCALES

Troubles in teaching and learning about focal mechanisms

José Sellés (*) y Leonor Bonán (**)

RESUMEN:

El taller está orientado a explicitar diferentes aspectos de las decisiones que es necesario tomar al abocarse a la tarea de transponer un tema para su enseñanza. Se presenta en él un análisis de la relación entre los modelos científicos, los modelos didácticos y las herramientas conceptuales de la Didáctica de las Ciencias que permiten articularlos. Para ilustrarlo se analizan los modelos teóricos que subyacen al análisis de los mecanismos focales asociados a un evento sísmico y a las representaciones que se hacen de los mismos. Se reseñan, además, los conceptos, provenientes de distintas disciplinas, que son prerequisites para la comprensión del tema (denominados "carga conceptual implícita").

ABSTRACT:

This workshop aims in underlining different questions that account when selecting the ways to transpose concepts (in this case about focal mechanisms) in order to teach them. The relationship among scientific models, didactic models and conceptual tools in Didactic of Sciences that make it possible to articulate them, are analysed. To illustrate this theoretical models underlying the analysis of focal mechanisms associated to an earthquake and the representations made for it are commented. A description is made of the concepts, coming from different areas of knowledge, that are involved in the understanding of the subject (named "implicit conceptual load").

Palabras clave: Didáctica, Geología, Mecanismos-Focales, Modelos-didácticos.

Keywords: Didactics, Geology, Focal-Mechanisms, Didactic-models.

INTRODUCCIÓN

Los sismos, seísmos o terremotos son los fenómenos geológicos que, por excelencia, han atraído la atención de la humanidad desde épocas remotas. Si bien su causa, la deformación frágil de la corteza terrestre, se conocía con anterioridad al surgimiento y consolidación de la Teoría de Tectónica de Placas, ésta ha proporcionado el marco paradigmático en el cual contextualizar y explicar el origen de los sismos e interpretar los fenómenos asociados a ellos. El *análisis de mecanismos focales* es una técnica que permite echar luz sobre la mecánica que rige los movimientos relativos de los cuerpos de roca cuando ocurre un sismo, es decir saber para qué lado se mueven las rocas a cada lado del plano de falla. Esta técnica se inscribe dentro del conocimiento desarrollado por la Geología en general y por la Geofísica en particular, pero requiere de conocimientos de otras áreas diferentes, en particular de las Ciencias Formales y Naturales, y su construcción conceptual requiere del abordaje de una serie de teorías que involucran modelos teóricos de diversos orígenes. La enseñanza y/o el aprendizaje del *análisis de mecanismos focales* plantea una serie de problemáticas propias de la Didáctica de las Ciencias de la Tierra, que son objeto del presente artículo.

La estructura del taller se basa fundamentalmente en el uso y discusión de modelos didácticos para la enseñanza de conceptos científicos. Se analizan por ello en esta contribución algunas características de los modelos científicos y didácticos, ilustrando cada caso con ejemplos incluidos en el taller.

OBJETIVOS DEL TALLER

Sobre la base de que el tema Mecanismos Focales se presenta como un importante referente para ver si se ha logrado el aprendizaje significativo de numerosos conceptos que son explicados en diferentes disciplinas y que son escasas veces integrados en la resolución de un problema geológico-geofísico real, se consideró que el mismo debía estar presente en las instancias culminantes de los cursos de Geología en diferentes niveles. Sin embargo, al tratar de instrumentar su inclusión, se observó que era sumamente escasa la cantidad de personas que podían acceder directamente al tema. Esto llevó a un intenso proceso de análisis de su complejidad conceptual, de los orígenes de ésta y de las posibles técnicas de analogación y modelado que pudieran hacer más accesible su comprensión. Se propuso así realizar un taller en el cual la explicación del tema

(*) Dto. de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

(**) Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Mecanismos Focales sirviera además como referencia temática sobre la cual elaborar discusiones relacionadas a la transposición didáctica en distintos niveles, las herramientas que la posibilitan y los aciertos y limitaciones de dichas herramientas. El taller sobre Mecanismos Focales persigue así los siguientes objetivos:

- Ayudar a elaborar propuestas de transposición didáctica de la técnica de *análisis de mecanismos focales* y sus aplicaciones más importantes.
- Brindar como ejemplos un texto, los modelos utilizados en el taller y una estrategia de enseñanza elaborados para el nivel universitario de grado.
- Analizar la estructura conceptual que hace de soporte al desarrollo de la técnica de análisis de los mecanismos focales.
- Proponer la utilización de modelos didácticos para la enseñanza de los conceptos involucrados en dicha estructura conceptual, analizando algunos ejemplos.
- Facilitar una reflexión conjunta entre investigadores y enseñantes acerca de la necesidad de una conexión constante entre ambos para colaborar en la elección de materiales, modelos y estrategias de enseñanza a nivel preuniversitario, aprovechando el conocimiento disciplinar de los primeros y el de la realidad del aula de los segundos.

LA ENSEÑANZA INTEGRADA DE LAS CIENCIAS NATURALES

El desarrollo disciplinar de las Ciencias Geológicas ha sido posible gracias a la evolución del conocimiento científico en otras áreas, en particular de las Ciencias Naturales. Gran parte del conocimiento involucrado en el desarrollo del *análisis de mecanismos focales* se sustenta en conceptos provenientes de modelos de las Ciencias Físicas. Los modelos que estas ciencias postulan se expresan, son en general abstractos, es decir se expresan no sensorialmente, sino a través del lenguaje matemático, lo que dificulta su enseñanza y uso en los distintos niveles de educación formal. Esta problemática excede el tema particular del que se ocupa este taller y puede extrapolarse a la Geología en general, más específicamente a aquellas áreas de la misma vinculadas a la dinámica y a la estructura de la Tierra en todas sus escalas. La base teórica de Matemática y Física, necesaria para la conceptualización de los contenidos estrictamente geológicos, ha ido expandiéndose y adquiriendo cada vez mayor importancia para el tratamiento de la información geológica. Sin embargo, la transferencia de saberes desde la Física y la Matemática hacia la Geología no se ha logrado con la eficiencia deseada (Gallegos, 1992). Se detectan comúnmente errores en informes y exámenes realizados por alumnos universitarios e inclusive se han encontrado errores de este tipo en artículos científicos publicados en revistas de circulación internacional (Engelder, 1994), lo que pone de manifiesto la gravedad del problema.

De aquí se desprende que la comprensión profunda de buena parte de la base conceptual asociada al desarrollo del análisis de mecanismos focales precisa, como requisito previo, del aprendizaje significativo de modelos provenientes de otras ciencias. Cabe destacar que esta problemática, la necesidad de contar con conocimientos extradisciplinares para comprender un tema disciplinar, no es exclusiva de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra sino que abarca a la Didáctica de las Ciencias en general.

Los alumnos obtienen, paralelamente a su formación en Ciencias de la Tierra, formación en otras Ciencias Naturales (por lo general: Biología, Química y Física). Esto, sin embargo, generalmente no se traduce en una enseñanza integrada, sino que cada ciencia se enseña como un ente aislado desde un enfoque monodisciplinar. Incluso cuando se ha intentado enseñar Física o Química con un enfoque integrado, dirigido a alumnos de Geología y Biología, los resultados han sido decepcionantes, pues, en razón de que los docentes a cargo de esas asignaturas no poseen los conocimientos más elementales de Geología y Biología, carecen de la capacidad de utilizar ejemplos provenientes de esas ciencias y, por lo tanto, en estas experiencias, o bien sólo se logra disminuir el nivel de la enseñanza por reducción de la calidad y cantidad de la enseñanza, o se cae en ejemplos ridículos (como proponer como modelo un gorila rígido balanceándose en una rama como alternativa “transpuesta” del péndulo simple) que desvirtúan completamente el objetivo de la enseñanza integrada.

LOS MODELOS CIENTÍFICOS Y DIDÁCTICOS

Los modelos científicos

Los modelos científicos son los medios con que los científicos representan el mundo, tanto para sí mismos como para los demás. El objetivo que persiguen es interpretar (comprender) los fenómenos del mundo y actuar sobre ellos. Para ello los científicos relacionan los fenómenos (reales) con modelos (teóricos) mediante proposiciones o hipótesis teóricas (Izquierdo et al., 1999). Éstas hipótesis son entidades lingüísticas que funcionan como enunciados que afirman una relación de semejanza entre el modelo y lo real. El modelo es una representación de la situación de la que se quiere dar cuenta, por ello no es en sí mismo ni verdadero ni falso. Las hipótesis, en cambio, pueden sí ser verdaderas o falsas, pues suponen la semejanza (de ciertos aspectos y en cierto grado) entre los modelos y los sistemas reales (Giere, 1992). Cuanto más aspectos y en mayor grado se aproxime el modelo a la realidad, mejor será el mismo. La complejidad de la formulación y el grado de abstracción que alcanzan la mayoría de los modelos científicos vigentes obstaculizan su traslado inmediato al aula y han sido la causa de la generación de diferentes herramientas didácticas que posibiliten la enseñanza del conocimiento científico desde un piso conceptual diferente al que manejan los expertos.



Los modelos analógicos en Geología

La finalidad de los modelos analógicos en Geología es precisar mejor la evolución, las causas y los mecanismos de los procesos geológicos causantes de las estructuras observadas en la naturaleza. Se utilizan intensamente en investigación para reproducir y pronosticar y, desde el punto de vista didáctico, se utilizan para aproximar a los alumnos al carácter experimental de la Geología. Su uso, actualmente muy difundido, se fundamenta en la dificultad o imposibilidad de reproducir en el laboratorio las condiciones en que se llevan a cabo la gran mayoría de los fenómenos y procesos geológicos reales. Son principalmente destacables al respecto la imposibilidad de reproducir en su magnitud real los espacios involucrados (extensión y profundidad de los ambientes geológicos), los períodos de tiempo en el que se producen los fenómenos y las enormes magnitudes de las variables físicas (presión, temperatura, etc.) que se les asocian, (Álvarez R., y García de la Torre, 1996). Los modelos analógicos son utilizados con fines didácticos, en función de las semejanza que presentan con lo que se modela y permiten realizar experiencias en contextos espaciales y temporales más reducidos y condiciones físico-químicas análogas. Pero para que la modelización sea consistente hace falta fundamentar y contextualizar el conocimiento teórico subyacente al modelo experimental y explicitar claramente las limitaciones del modelo. Para ello se necesita distinguir claramente las analogías entre el modelo y el proceso analogado, determinando qué variables geológicas reales representan cada una de las utilizadas en el modelo y qué fenómenos geológicos reales tendrían relación con los que se observan durante la puesta en práctica del modelo. En la enseñanza de la Geología Estructural, por ejemplo, el principio de la modelización analógica es construir modelos dimensionados, lo más próximos posibles a sus equivalentes naturales, en particular homologando la repartición de fuerzas, la reología de los materiales y las condiciones de desplazamiento en los límites del modelo (Gil, *et al.* 1997). Algunos modelos utilizan cera para simular las rocas, mientras que otros utilizan arena. Ambos materiales son válidos como análogos, pero del conocimiento de sus cualidades y limitaciones depende el éxito o el fracaso de la interpretación que se haga de los resultados obtenidos al usar el modelo, ya sea para la enseñanza o en investigación.

Los modelos didácticos

En Galagovsky *et al.*, 1999 los autores consideran los modelos didácticos como re-representaciones escolares de los modelos científicos, que se articulan a través de la transposición didáctica. Los buenos modelos didácticos funcionan como facilitadores del acceso de los alumnos al nivel más alto de representación de las disciplinas científicas, posibilitan la construcción gradual de los saberes desde las formas más intuitivas y empíricas hasta las más estructuradas y teóricas. Para eso, es necesario que el docente haga explícitas las limitaciones de los

modelos didácticos y su relación con los modelos científicos, también limitados, además de provisorios y perfectibles (Meinardi, 1998). En el uso de modelos didácticos se articularía en ciertas ocasiones la intersección de la historia del desarrollo del conocimiento en una determinada disciplina con la implementación de estrategias para su enseñanza, por cuanto, en rasgos generales, los procesos mentales que debe llevar a cabo un individuo para comprender un determinado concepto, siguen, a veces, un camino similar al de los procesos de modelización que han ido sucediéndose a lo largo del tiempo dentro de la comunidad científica hasta llegar al conocimiento actual.

Debido a la complejidad que engloba el término “modelo didáctico” y sus distintas categorías, nos entenderemos en su discusión, ya que cada una de éstas tendrá un uso específico en el desarrollo del taller.

Representaciones científicas

Son registros testimoniales que dan origen a imágenes sensoriales, y que se obtienen por algún medio instrumental, tales como cámaras fotográficas, grabadores, sismógrafos, y, en general, cualquier tipo de equipo o instrumento capaz de realizar un registro en forma digital o analógica de un fenómeno que lo afecta. El referente de este tipo de representación es un concepto científico (una erupción, una estructura cristalina, el latir del corazón), que es así reconstruido mediante artificios tecnológicos. Son ejemplos de este tipo de representación: una fotografía, una imagen de microscopía electrónica, un electrocardiograma, una imagen de satélite, etc. Lo son asimismo las grabaciones de los sonidos asociados a una erupción, a un sismo, etc. En la mayoría de los casos la información presente en la representación científica puede ser objeto de diferentes manipulaciones o interpretaciones de acuerdo a los conocimientos u objetivos del análisis que se realiza de la misma. El grado de filtrado y subjetividad presente en una representación científica está limitada a los alcances y limitaciones del aparato de registro y del material sobre el que se conserva dicho registro (tipo de cámara y película en el caso de una fotografía).

Representaciones concretas

Son representaciones visuales de imágenes, asociadas a algún modelo científico en particular; pueden ser dibujos, proyecciones bidimensionales u objetos tridimensionales. El referente de este tipo de representación es también un concepto científico, reconstruido mediante artificios gráficos, generalmente simplificadores del concepto científico. Se diferencian de las representaciones científicas en que no constituyen registros de eventos reales sino que son imágenes creadas desde la actividad intelectual de quien las manipula y poseen generalmente un objetivo determinado. Ejemplos de este tipo son: un dibujo de un orbital o de una célula, un bloque diagrama de una estructura geológica, una maqueta de un cristal, un dibujo del sistema solar. En los casos anteriormente citados, un experto comprende que este tipo de representación es una sim-

plificación del concepto científico referente; interpreta sus alcances, aplicaciones y limitaciones, sus escalas de trabajo y el grado de distancia entre la reconstrucción del concepto científico propiamente dicho y su representación concreta. Un novato, en cambio, suele aceptar este tipo de representación como “verdad”, sin comprender la naturaleza mediática de los instrumentos utilizados y de las convenciones y simplificaciones gráficas utilizadas. En este caso, a diferencia de las representaciones científicas, la información básica ha sido profundamente transformada para adaptarla a los objetivos.

Representación con análogos concretos

Los análogos concretos son dispositivos didácticos generados especialmente para facilitar el aprendizaje de nociones abstractas. No reproducen el modelo científico para cuya explicación se los emplea, sino que contienen acciones y propiedades que serán utilizadas como pasos o escalones para la comprensión de dicho modelo. Se aprovechan en este caso elementos y situaciones que contienen conceptos ya existentes en la estructura cognitiva de los alumnos con el propósito de relacionarlos posteriormente con los nuevos conceptos cuyo aprendizaje se quiere facilitar, mediante el proceso denominado “de analogación” (Galagovsky, 1993). El uso de analogías puede jugar un papel muy importante en la re-estructuración del marco conceptual de los alumnos-novatos, puede facilitar la comprensión y visualización de conceptos abstractos, puede provocar el interés por el tema nuevo y puede estimular al profesor-experto a tener en cuenta el conocimiento previo de los alumnos.

EJEMPLOS DE REPRESENTACIONES DIDÁCTICAS UTILIZADAS EN EL TALLER

Se presenta a continuación un ejemplo de cada una de las categorías definidas como “representaciones didácticas”. Estos y otros ejemplos son elaborados con mayor detenimiento durante el desarrollo del taller.

Representaciones científicas

El concepto de *explosión* se explora a través de la fotografía de un hongo atómico. Esta imagen, registro gráfico testimonial, impone una serie de limitaciones respecto de una explosión real (el tamaño del hongo, la desnaturalización de los materiales afectados por ella, la propagación de la onda expansiva, etc.). Por otra parte, al presentar un único momento de la explosión, es una imagen estática del fenómeno representado, oculta la característica dinámica de la explosión, un rasgo sumamente importante de la misma. En este caso, el instrumental mediador es una cámara fotográfica, que capta parcialmente las características reales de la explosión. Se la usa con dos objetivos, uno, didáctico, remite a una figura conocida asociada a un proceso físico (al que se hará referencia posteriormente) y busca hacer aflorar los inclusores necesarios; el otro, motivador, tiene como propósito enfrentar al

alumno con la posibilidad de resolver el problema de identificar explosiones atómicas que no producen hongos visibles.

Representaciones concretas

Entre las muchas alternativas posibles se eligió un planisferio en proyección Mercator para mostrar las placas litosféricas y sus movimientos relativos. Las ventajas de esta representación son, entre otras, la posibilidad de percibir en forma simultánea elementos distribuidos sobre una superficie originalmente esférica, hacerlo sin necesidad de desplazarse hasta una órbita extraterrestre (dadas las dimensiones reales de las placas) y, eliminar todos aquellos elementos (como el agua de los océanos y las nubes en la atmósfera) que complicarían la percepción directa de los límites de las placas. Sus limitaciones son muchas y van desde la distorsión en la forma de las placas, introducida por el tipo de proyección utilizado, a la inamovilidad de las placas sobre la imagen (esto podría haberse evitado si se utiliza un programa de computadora que muestra el desplazamiento relativo de las placas, pero aún en ese caso no se representarían los tiempos reales del proceso).

Análogos concretos

Dentro de esta categoría de representación didáctica se incluye la narración siguiente:

“Imaginen una persona que pone la cara entre dos boxeadores. Bofetada desde la izquierda, gesto de dolor, la cara gira a la derecha. Bofetada desde la derecha, la cara gira hacia la izquierda, nuevo gesto de dolor. Dos bofetadas al mismo tiempo desde ambas direcciones. La cara no gira. ¿No hay dolor?”

Con este ejemplo, cuya característica jocosa no se desprecia, intentamos poner en evidencia un concepto de difícil incorporación significativa, *el esfuerzo*, y su diferencia con otro concepto asociado *la fuerza*. El alumno puede reconocer en la secuencia *golpe-giro* una relación de *causa-consecuencia*. Sabe, generalmente por algún tipo de experiencia semejante, que aunque la cara no gire, el dolor existe. Puede utilizar entonces estos elementos, diferencia entre bofetada-acción y dolor-giro-reacción para acceder a los conceptos de fuerza y esfuerzo.

Cada bofetada individual representa la aplicación de una fuerza sobre un cuerpo que puede desplazarse. Se considera como *visible* en la analogía el giro de la cara a partir de la aplicación de la fuerza. La cara gira porque nada lo impide y de ese modo se aleja también del puño que la agrede.

Las bofetadas al mismo tiempo en sentidos opuestos se utilizan para analogar la aplicación de fuerzas de igual magnitud y en la misma dirección pero de sentido contrario. Dado que ambas bofetadas son iguales pero opuestas la cara permanece inmóvil. ¿Pero que ocurrió con la energía que, en el caso anterior se utilizó para desplazar la cara, y ahora no encuentra forma de disipación? Se analogan aquí los problemas que surgen de la aplicación



de fuerzas a cuerpos que no pueden desplazarse. Cuando un cuerpo no puede desplazarse, "siente" la fuerza aplicada en forma de "esfuerzo", de la misma forma que la cara, imposibilitada de girar, siente un dolor mucho más intenso que en las bofetadas individuales.

El valor de la analogía llega hasta aquí. Los conceptos que no son analogados en este caso se refieren a las diferencias entre la deformación elástica o recuperable, que es el tipo de deformación implicado en un evento sísmico, y la deformación de tipo dúctil, o plástica, no recuperable al desaparecer la causa que la produjo. A los fines de los estudios sísmicos se sabe que los cuerpos geológicos no son rígidos, sino deformables, pero, para evitar caer en el problema de la polisemia del término "rígido" en el contexto cotidiano y en la jerga científica se evita hacer referencia a él.

El análisis del proceso de deformación de un cuerpo está asociado a diferentes herramientas matemáticas, matrices y campos vectoriales, cuyo conocimiento es escaso o nulo fuera de algunos pocos centros de enseñanza de las ciencias geológicas en el nivel universitario, lo que lo hace con más razón inabordable desde esta perspectiva en cualquier ámbito no universitario. Tanto las matrices de esfuerzo, como las de la deformación resultante de él, como así también los campos vectoriales representativos de esas situaciones, se determinan a partir del conocimiento de las fuerzas aplicadas y de las propiedades del cuerpo. El modelo científico que está detrás del análogo concreto es el que utiliza estructuras matemáticas, hipótesis y recursos lingüísticos de alto grado de abstracción para ser definido. Debido a la complejidad de esta formulación el aprendizaje precisa tener en su estructura cognitiva una buena cantidad de *conceptos inclusores* que le permitan realizar un aprendizaje significativo en el más alto grado de aprehensión, lo que, como hemos dicho, es imposible de lograr en la mayoría de los casos, por lo que la creación y uso del análogo es indispensable para enseñar este tema en otros niveles educativos distintos de la formación científica.

Consideraciones semejantes podrían realizarse con respecto a la homogeneidad o heterogeneidad de composición -y por lo tanto de comportamiento- del material. El tratamiento de este tema conduciría a discusiones similares a las señaladas en el punto anterior, y no será tratada por razones de espacio.

Digamos a modo de conclusión parcial que cuando se trabaja con un análogo concreto es importante que la enseñanza se centre en reflexionar acerca de las *semejanzas y diferencias* entre el modelo didáctico y el modelo científico que ha sido analogado. Este aspecto es clave para la resignificación del conocimiento pensando en futuros aprendizajes que se adicionaran a éste y permite identificar y corregir posibles errores que se transformarían en preconcepciones erróneas a la hora de construir sobre ellos.

LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA COMO EJE ESTRUCTURANTE DEL ANÁLISIS DIDÁCTICO

El concepto de *transposición didáctica* (Chevallard, 1997) es uno de los actuales pilares de la Didáctica de las Ciencias por el gran consenso que ha adquirido entre los especialistas. Se entiende por tal al conjunto de mediaciones adaptativas entre el conocimiento erudito y el conocimiento a enseñar, atendiendo especialmente al tratamiento del contenido, de modo de evitar su "banalización" y asegurar la conservación de los enfoques epistemológicos y metodológicos propios del objeto de enseñanza (Frigerio, 1991).

Para poder realizar una transposición didáctica sin desfigurar el modelo científico que se esté tratando deberán hacerse explícitas las simplificaciones que operen sobre dicho modelo. Sin embargo, por lo general, las propuestas de enseñanza no explicitan cuáles son las mediaciones que se realizan sobre el modelo científico que funciona de soporte del contenido que se quiere enseñar. A su vez, tampoco se establece la vigencia o no del modelo científico en cuestión entre los expertos. Con esto queremos decir que posiblemente un modelo científico usado en un determinado momento con fines didácticos, haya perdido validez para la comunidad científica que lo generó, la que ya lo ha reemplazado por otro. Pero aún en este caso su utilización es lícita si dicho modelo constituye un hito en la elaboración del modelo actual. Sin embargo, si su desarrollo ha sido esencial para la existencia de otro modelo posterior que rige los actuales desarrollos del campo de que se trate y, que a la vez, forme parte de la formación científica de los miembros que ingresan a dicha comunidad, dicho modelo puede ser considerado válido como herramienta didáctica e incluso puede utilizarse para analizar sus limitaciones respecto de otros modelos superadores (Duschl, R., 1997). Es importante que quién aprende comprenda que el saber científico no es un producto acabado, sino que permanentemente se realizan adiciones, reorganizaciones y reconstrucciones del mismo. Sin embargo no todas las instancias de este proceso son relevantes para ser llevadas al aula, algunas se refieren a aspectos demasiado sutiles o demasiado complejos para justificar la búsqueda de un modelo didáctico que lo analogue cuando se trabaja con alumnos cuyo nivel de desarrollo cognitivo aún no lo justifica. Esta circunstancia establece el límite a la utilización indiscriminada de modelos y de la historia de la construcción del conocimiento en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Al operar una transposición didáctica sobre un modelo científico, se realizan necesariamente simplificaciones del mismo. Tales simplificaciones son obvias para quien enseña pero no para quien aprende. La transposición didáctica de los modelos a enseñar requiere la toma de conciencia de las simplificaciones que se realizan para su enseñanza, lo que constituye un objetivo central del desarrollo del taller.



CONTENIDOS ENCADENADOS EN EL ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS FOCALES

Para el tratamiento didáctico de la “carga conceptual implícita” en el análisis de los mecanismos focales, se recurrió a una enumeración ordenada de los conceptos y el análisis de las relaciones que se establecen entre ellos. Brindamos aquí un listado de estos conceptos, mientras que el análisis de sus relaciones se trabajará durante el taller a través de una red conceptual sobre el tema. La diferencia entre la enumeración ordenada de la carga conceptual implícita y la red conceptual radica en que esta última muestra relaciones múltiples entre conceptos o nodos (cuánto más relaciones mejor), mientras que el ordenamiento propuesto se refiere a la cronología que se requiere para lograr un aprendizaje significativo y sólo establece relaciones elementales e imprescindibles para el llegar al resultado buscado. “El orden de los conceptos altera el aprendizaje” es también una idea subyacente en el encadenamiento, que no está presente en una red conceptual..

- Los cuerpos están constituidos por materia, en el caso de los cuerpos geológicos asociados al tema, esa materia recibe el nombre de roca.
- Las fuerzas resultan de la interacción de los cuerpos entre sí.
- Los materiales son sensibles a las fuerzas que actúan sobre ellos.
- Si las fuerzas no están equilibradas, los cuerpos se ponen en movimiento.
- Si las fuerzas están equilibradas se originan esfuerzos en el seno del material.
- Cuando los esfuerzos superan un determinado valor, propio de cada material y de las condiciones ambientales, los cuerpos se deforman.
- El material que se deforma puede cambiar su tamaño y/o su forma.
- Este cambio puede ser permanente o temporario por lo que la deformación puede ser elástica (desaparece si desaparece el esfuerzo) o plástica (permanece aunque desaparezca el esfuerzo).
- En muchos casos la deformación plástica sigue a una deformación inicial pequeña de tipo elástico.
- La diferencia entre deformación elástica y plástica puede ser sólo función de la escala de observación, aún para un mismo material dentro de un mismo proceso. El sismo es un fenómeno de deformación elástica (observable en forma instantánea) que tiene lugar en un contexto geológico de deformación plástica que abarca de decenas a miles de años.
- La deformación plástica puede ser de naturaleza frágil o dúctil. Aquí aparece claramente otro problema de polisemia con respecto a la palabra **plástica**, que en su contexto científico tiene un significado claramente diferente al uso familiar.
- La deformación frágil implica la fragmentación del material, es decir la pérdida de continuidad del mismo a lo largo de planos de fractura.
- Cuando la deformación es de tipo dúctil no se observa pérdida de continuidad en la escala en que se está llevando el análisis (aunque sí puede haberla a una escala mayor, es decir a la escala de los pequeños granos o cristales de la roca).
- En la naturaleza existen fuerzas de distintos orígenes que actúan sobre los materiales geológicos.
- La más importante es la fuerza de gravedad, pero además existen otras “fuerzas”, como las asociadas a la presencia de diferencias de temperatura entre los distintos cuerpos de roca.
- Otras fuerzas pueden considerarse derivadas de las anteriores según la escala de observación en que se trabaje. Así por ejemplo, la fuerza que empuja las rocas en una zona orogénica de compresión es una fuerza local derivada del movimiento transmitido a las placas como consecuencia del movimiento de masas en el interior del manto terrestre, movimiento este que es causado por las diferencias de temperatura (corrientes convectivas).
- Estas fuerzas pueden adquirir magnitud suficiente como para generar esfuerzos capaces de romper cuerpos de roca originalmente continuos.
- El desplazamiento de los fragmentos originados se ve dificultado por el rozamiento, otro tipo de fuerza (llamada resistiva).
- El rozamiento impide que la fuerza aplicada desplace el cuerpo de roca, y por lo tanto, produce la acumulación de esfuerzo.
- En el momento en que la magnitud del esfuerzo acumulado supera el valor del rozamiento, el cuerpo de roca puede desplazarse sobre el plano de falla.
- En este momento, el material, que durante el proceso de crecimiento del esfuerzo había acumulado energía mientras se deformaba elásticamente, libera dicha energía, se desplaza y recupera sus dimensiones y forma original.
- El exceso de energía que no es consumido en el transporte de la masa de roca es irradiado en todas direcciones y da origen a una perturbación que se propaga en todas direcciones, el sismo.
- El sismo está caracterizado por la irradiación, desde el foco (punto dónde se ha producido el evento), en todas direcciones, de una onda o conjunto de ondas de diferentes características, que pueden ser captadas mediante instrumental adecuado. Esta interpretación del sismo constituye un modelo científico. El instrumental registra el sismo en un documento denominado sismograma, el cual constituye la representación científica del fenómeno.
- Dentro del conjunto de ondas que registran los sismogramas se destacan dos tipos principales, las ondas P y las ondas S, cuyas características permiten establecer diferentes parámetros reológicos del material atravesado en su trayectoria.



- Si la onda avanza induciendo compresiones y rarefacciones en el material, es decir el material se mueve en la dirección de avance de la onda hacia delante y atrás, se trata de una onda de tipo P.
- Si la onda induce desplazamientos laterales del material, a un lado y a otro, en la perpendicular a la dirección de avance de la onda, se trata de una onda S.
- En el caso de las ondas P la naturaleza del primer movimiento, compresión o rarefacción, está asociada a la naturaleza del evento que le da origen.
- En el caso de una explosión, es decir de un cuerpo que se deforma aumentando de tamaño (ilustrado con la fotografía del hongo atómico, representación científica), la onda que se genera lleva un primer impulso compresivo en todas direcciones.
- En el caso de una implosión, es decir de un cuerpo que disminuye bruscamente su volumen, la onda que se genera lleva un primer impulso expansivo en todas direcciones.
- En el caso del movimiento que se produce sobre un plano de falla, la onda que se genera lleva primeros impulsos compresivos en unas direcciones y primeros impulsos expansivos en otras.
- Las direcciones en las que se propagan primeros impulsos compresivos y expansivos no son aleatorias sino que están íntimamente relacionada con los sentidos de desplazamiento relativo de los cuerpos rocosos involucrados. (Ésta es la base conceptual o modelo científico del Análisis de Mecanismos Focales).
- El desplazamiento relativo de dos cuerpos de roca en el contexto geológico natural puede ser de alguno de estos tres tipos límites: Un cuerpo se desplaza sobre el otro de tal forma que se acerca a él. Un cuerpo se desplaza sobre el otro de tal forma que se aleja de él. Ambos cuerpos pasan uno junto al otro sin superponerse. El desplazamiento puede ser, además, una combinación de alguno de los dos primeros con el segundo. Cada uno de estos tipos de movimiento genera una señal sísmica diferente que permite su reconocimiento. (Éste es el objetivo de la aplicación del método de Análisis de Mecanismos Focales).

Este extenso listado ha explorado exclusivamente los pre-requisitos conceptuales disciplinares. A partir de este punto corresponde ya ingresar en el desarrollo de las técnicas de lectura, manipulación e interpretación de los datos sísmicos, tarea que involucra el análisis de los pre-requisitos procedimentales, entre los cuales aparecen, en forma destacada, los conocimientos de las técnicas de proyección estereográfica que, por sus dimensiones, escapa a las posibilidades de esta contribución.

A MODO DE CIERRE

La Didáctica de las Ciencias está centrada en el estudio de la estructura de las Ciencias Naturales, desde el cual puede teorizar sobre la enseñanza y el aprendizaje. Junto al análisis intrínseco de los saberes científicos, aparece el estudio de una serie de situaciones en las cuales dichos saberes son gestionados. Entre ellas, la enseñanza y el aprendizaje son las principales, pero existen otras como la creación, la aplicación, la utilización, la divulgación y la transposición del conocimiento, que reciben atención teórica creciente (Adúriz Bravo, 1999). La aplicación de la teoría didáctica al conocimiento disciplinar permite realizar un análisis de segundo orden, es decir, teorizar acerca de las relaciones que se establecen entre los modelos científicos involucrados en una determinada teoría. Este tipo de análisis, de corte epistemológico, conduce a reflexionar sobre el conocimiento científico y desempeña un papel importante en su enseñanza, como así lo evidencia el creciente número de publicaciones al respecto.

Este artículo pretende hacer explícitos los criterios que funcionan de soporte teórico en la concepción del taller Análisis de Mecanismos Focales. El análisis de la enseñanza y el aprendizaje de este tema brinda la posibilidad de acercarnos a problemáticas propias de la Didáctica de las Ciencias, entre las que destacan los problemas de la asociación de conceptos provenientes de áreas disciplinares diferentes, la identificación de vínculos entre conceptos y la creación de métodos que permitan resolver problemas, aprovechando las características de los materiales y procesos que son causa del problema científico, en este caso, saber que tipo de falla ha sido activada por el sismo y cuál es su orientación espacial a partir de los registros sísmicos, sustentándose en los modelos de generación y propagación de ondas sísmicas.

El tema Análisis de Mecanismos Focales se inscribe en el ámbito disciplinar específico de la Sísmica, asociado directamente a la Geofísica y la Geodinámica y es aprendido por los alumnos del nivel universitario en alguna de estas dos asignaturas. Dependiendo de la institución de la que se trate, puede formar parte de la formación troncal o de la orientada de un geólogo. El andamiaje conceptual necesario para la construcción pormenorizada de esta técnica tiene un nivel de complejidad apreciable, de ahí que su enseñanza en la universidad se constituya en un problema. Esto motiva la atención de los especialistas para intentar facilitar el aprendizaje a los alumnos universitarios, resultando en nuestro caso, en la producción de un texto para su enseñanza (Sellés-Martínez, 1998) en el que se analizan los alcances y limitaciones de las diferentes representaciones del modelo científico y posteriormente en el desarrollo del taller y de este texto mismo..

BIBLIOGRAFÍA

- Adúriz-Bravo, A., (1999). *Análisis de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la Didáctica de las Ciencias*. Tesis de Maestría en Didáctica de las Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Álvarez R. y García de la Torre, E., (1996). *Los Modelos Analógicos en Geología: implicaciones didácticas. Ejemplos relacionados con el origen de los materiales terrestres*. En *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (4.2).
- Chevallard, I., (1998). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Duschl, R., (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. (Madrid: Narcea)
- Engelder, T., (1994). *Deviatoric Stressitis: A virus Infecting the Earth Science Community*. En *EOS* 75 (18).
- Frigerio, G. [comp.] (1991). *Curriculum presente, ciencia ausente. Tomo I: Normas, teorías y críticas* (Buenos Aires: Miño y Dávila)
- Galagovsky, L. (1993). *Hacia un nuevo rol docente. Una propuesta diferente para el trabajo en el aula* (Buenos Aires: Troquel)
- Galagovsky, L., Bonán, L., Morales, L., Adúriz-Bravo, A. y Meinardi, E. (1999). *El modelo de ciencia escolar: una propuesta de la Didáctica de las Ciencias Naturales para articular la normativa y la realidad del aula*. En *XI Reunión de Enseñanza de Física de la Asociación de Profesores de Física Argentina, Mendoza*.
- Gallegos, J. (1992). *Errores conceptuales en Geología: Los conceptos de isotropía-anisotropía y propiedad escalar - propiedad vectorial*. En *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2).
- Giere, R., (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo* (México: Consejo Nacional de ciencia y tecnología)
- Gel, A., Cortés, L., Arlegui, L., Román T. y Liesa, C., (1997). *El uso de modelos experimentales en la enseñanza de Geología Estructural (I) Aplicación a la deformación continua*. En *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (5.3)
- Halbwachs, F. (1975). *La Física del profesor entre la Física del físico y la Física del alumno*. En *Psicología genética y aprendizajes escolares [comp]*. (Madrid: Siglo XXI)
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M., Pujol, R. Y Sanmartí, N., (1999). *Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar*. En *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra.
- Meinardi, E. (1998). *Debates actuales en la Didáctica de las Ciencias Naturales y su relación con la práctica en el aula*. Conferencia en IV Jornadas Nacionales de Enseñanza de la Biología. San Juan, Argentina.
- Sellés-Martínez, J. (1998). *Mecanismos Focales*. Dpto. de Ciencias Geológicas, FCEyN, Universidad de Buenos Aires. Inédito. ■

Este trabajo es una contribución a los proyectos
EX15 de la Universidad de Buenos Aires y
PIP-CONICET .

