

## CONCEPCIONES DE ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA SOBRE METAMORFISMO

### *Secondary school students' conceptions about metamorphism*

Maria Teresa Figueiredo (\*) y Luis Marques (\*\*)

#### RESUMEN

La investigación realizada se encuadra en el dominio del Movimiento de las Concepciones Alternativas y de la Mudanza Conceptual. En este estudio se han identificado ideas de los alumnos relativas a tres subtemas de metamorfismo: la estructura de la materia, la acción de los agentes de metamorfismo y la integración del metamorfismo en el ciclo geológico. Se ha podido constatar que algunas de estas ideas, designadas como concepciones alternativas, poseían un gran poder explicativo de los fenómenos en estudio, mientras que otras, denominadas ideas erróneas, no contenían esa capacidad explicativa. La adopción de algunas de las recomendaciones como estrategias de enseñanza pueden contribuir a que los alumnos sustituyan las ideas iniciales por otras, más próximas de los conceptos científicamente correctos.

#### ABSTRACT

This study is concerned with conceptual change. The first phase is related to the identification of ideas about the topic metamorphism; it was divided into three sub-topics, i.e. structure of matter, action of metamorphic agents and articulation of metamorphism with the rock cycle. A group of ideas exhibit a reasonable explanatory potential of natural phenomena whereas another group does not. This means that there are two types of ideas: alternative conceptions and erroneous ideas. Suggestions for the designing of teaching and learning strategies which enable the students to modify these ideas are put forward.

**Palabras clave:** cambio conceptual, concepciones alternativas, metamorfismo, estrategias de enseñanza y aprendizaje

**Keywords:** conceptual change, alternative conceptions, metamorphism, teaching and learning strategies

#### INTRODUCCIÓN

El trabajo presentado se encuadra en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias, más específicamente en el dominio del Movimiento de las Concepciones Alternativas (MCA). Las innumerables investigaciones efectuadas en este campo (Driver e Erickson, 1983; Gil Peres y Carrascosa, 1990; Marques y Thompson, 1997; Granda Vera, 1998; Gobert, 2000; Tsai y Tung, 2001; Schmidt, 2003; Paik *et al.*, 2004), demuestran que los alumnos antes del aprendizaje formal de las Ciencias, elaboran ideas relativas a fenómenos naturales que les permiten explicar acontecimientos diversos. Estas ideas no se encuentran aisladas, forman parte de estructuras conceptuales que les confieren un conocimiento sensible y coherente del mundo que les rodea (Pinto y Gómez, 1997; Barnet y Morran, 2003; Oliva, 2003). Dichas ideas son elaboradas por los alumnos y al no coincidir con los conceptos considerados correctos por la comunidad científica, pueden constituir obstáculos para un aprendizaje significativo y por consiguiente impedir el éxito educativo (Gobert, 2000; Cachapuz *et al.*, 2002).

Hoy se reconoce que las ideas de los alumnos relativas a los fenómenos naturales estudiados, deben de tenerse en consideración cuando los profesores elaboran estrategias de enseñanza que intentan promover su modificación por otras más conformes con las explicaciones científicas (Marques y Thompson, 1997; Barnet y Morran, 2003). La adopción de perspectivas de enseñanza de talante constructivista, que promuevan la modificación de las ideas de los alumnos es esencial para alcanzar la consecución de los objetivos definidos en el Aprendizaje de las Ciencias defendidos a nivel internacional (National Science Education Standards, 1997; Association for Science Education, 1998; Cachapuz *et al.*, 2000; Tsai y Tung, 2001; Duit y Treagust, 2003).

La enseñanza de contenidos programáticos en el área de Geología desde una perspectiva constructivista y holística, es fundamental para que los alumnos (re)construyan una imagen correcta y adecuada del sistema Tierra (Mayer 2001). Además es igualmente importante para que adquieran de manera significativa conceptos esenciales para la

(\*) Escuela Secundaria, 4º de ESO, de Gafanha de Nazaré; tel.: 234390898; Fax: 234390891

(\*\*) Departamento de Didáctica y Tecnología Educativa; Tel: 234370352; Fax 234370219; e-mail: lmarques@dte.ua.pt

deseada cultura científica, necesaria para una intervención crítica y constructiva en la actual sociedad tecnológica en que vivimos (Gobert, 2000; Martins, 2002).

A pesar del creciente número de estudios sobre las concepciones de los alumnos antes de la enseñanza formal, todavía existen aspectos del área de Geología en los que se continua justificando una profundización de la investigación. El tema “metamorfismo”, estudiado en Portugal, en la asignatura de Ciencias, de 4º de ESO es solamente uno de ellos. El aprendizaje significativo de los conceptos inherentes a este tema es importante para que los alumnos establezcan una articulación adecuada entre metamorfismo, magmatismo y diagénesis, en el proceso de la construcción de una perspectiva global del ciclo de las rocas, concepto complejo y que contribuye a la conceptualización de la Tierra como un planeta dinámico.

Teniendo en cuenta el papel del profesor en la elaboración de estrategias de enseñanza y de aprendizaje, la divulgación de los resultados de la investigación efectuada cerca de la comunidad docente es importante para facilitar la adopción de propuestas de trabajo promotoras de modificaciones conceptuales, procedimentales y actitudinales.

## PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El instrumento de recopilación de datos de la investigación efectuada, fue un cuestionario proporcionado a una muestra de 244 alumnos portugueses, con edades comprendidas entre los 16 y los 17 años, que accedían por primera vez a 4º de ESO. La realización de este cuestionario se basó esencialmente en los resultados de una entrevista exploratoria realizada previamente a profesores con práctica en la enseñanza del tema “Metamorfismo”. El objetivo de esta entrevista ha sido conocer las opiniones de los profesores relativas a las dificultades de los alumnos en este tema. Los datos obtenidos a través de la realización de esta entrevista han permitido elaborar hipótesis sobre las dificultades de los alumnos relativas a tres subtemas integrados dentro del tema en estudio como: “Estructura de la materia”, “Acción de los agentes de metamorfismo” e “Interrelación con la geodinámica”.

El cuestionario se ha realizado de acuerdo con las hipótesis de trabajo, y está elaborado a partir de cuestiones abiertas cuyo principal objetivo era el de obtener los datos necesarios para la investigación en curso. Para cada uno de los tres subtemas, teniendo como base una hipótesis de trabajo, se construyeron por lo menos, dos cuestiones teniendo como objetivo identificar las concepciones elaboradas por los alumnos relativas a fenómenos geológicos sobre este tema.

Intentamos que las cuestiones correspondiesen a situaciones problema, cuyas propuestas de solución contribuyesen a que los alumnos reflejasen sus ideas sobre los conceptos investigados.

El cuestionario antes de ser aplicado fue validado por un equipo de investigadores, dos especialistas en Geología y dos en Didáctica de la Geología. Los datos recopilados fueron sometidos a una técnica de análisis de contenido (Erikson, 1979, 1980), y se dedujo que los alumnos formaron ideas acerca de los subtemas en estudio.

Hoy ya se acepta que, frecuentemente, se utilice la designación de concepción alternativa de manera algo indebida, ya que muchas de las ideas de los alumnos así designadas, no poseen una capacidad explicativa de los fenómenos naturales (Santos, 1991; Kuiper *et al.*, 1994; Wandersee *et al.*, 1994). En este trabajo intentamos establecer la diferencia entre las ideas de los alumnos con capacidad explicativa de los fenómenos en estudio, de las ideas sin esta característica. De esta manera hemos designado como concepciones alternativas las ideas de los alumnos con una gran capacidad explicativa de los fenómenos naturales, permitiéndoles explicar otras situaciones. Además de estas ideas, los alumnos presentan también representaciones previas que denominamos ideas erróneas, ya que admitimos que no tienen el carácter explicativo de las concepciones alternativas. Intentamos identificar qué representaciones previas de los alumnos correspondían a concepciones alternativas y cuales eran apenas ideas erróneas. Para ello, efectuamos un estudio comparativo de las respuestas de los alumnos en el cuestionario, con el fin de investigar la coherencia entre las respuestas y las ideas de los alumnos sobre los mismos fenómenos. Este estudio demostró que algunas ideas de los alumnos eran coherentes y se encontraban integradas en modelos cognitivos más generales, siendo empleadas para resolver varias cuestiones-problema integradas en la misma área, correspondiendo por lo tanto a concepciones alternativas. Constatamos así mismo que un grupo significativo de alumnos revelaba ideas que no debían integrarse en modelos cognitivos más generales, ya que se utilizaban cuando respondían a cuestiones diferentes relacionadas con el mismo fenómeno, solamente fueron utilizadas una vez, debiendo de corresponder a ideas erróneas.

En el cuadro I presentamos ejemplos de ideas erróneas y de concepciones alternativas identificadas para cada sub-tema del “Metamorfismo”.

De acuerdo con lo que hemos expuesto, las ideas consideradas concepciones alternativas permiten a los alumnos explicar ciertos fenómenos geológicos estudiados. Por ejemplo la percepción de que “durante el proceso metamórfico no ocurren alteraciones estructurales o mineralógicas relevantes”, los alumnos se sirvieron de ésta para explicar por qué los mármoles y las calizas tienen alguna propiedad en común y para deducir que las rocas metamórficas con un aspecto semejante y algunos minerales comunes, se formaron a partir del mismo protolito.

En relación a la idea de que “los agentes de dinámica externa son los principales responsables de la formación de rocas metamórficas” se utilizó para explicar el hecho de que estos agentes generen

Subtema del “Metamorfismo”	Ideas Erróneas	Concepciones Alternativas
<i>Estructura de la materia</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Las rocas metamórficas no están formadas por minerales.</li> <li>* El aspecto exterior de las rocas metamórficas es el principal criterio que permite su clasificación.</li> </ul>	* Durante el proceso metamórfico no transcurren alteraciones estructurales o mineralógicas relevantes.
<i>Acción de los agentes de metamorfismo</i>	La presión litosférica provoca la reorganización de los minerales en planos definidos por una determinada dirección.	* Los agentes de dinámica externa son los principales responsables de la formación de rocas metamórficas.
<i>Integración en el ciclo geológico</i>	* El proceso metamórfico no se encuentra integrado en el ciclo geológico.	* Durante el proceso metamórfico transcurre la fusión de las rocas iniciales, y la posterior consolidación de estos materiales da origen a las rocas metamórficas.

Cuadro I – Ideas Erróneas y Concepciones Alternativas identificadas para cada uno de los dos subtemas del “Metamorfismo”.

mayoritamente el desarrollo de la estructura laminar durante la transformación de arcilla en esquisto y también el que sean los responsables de la desaparición de los fósiles durante la transformación de las calizas en mármoles y de la disminución de la estabilidad de los esquistos a lo largo del tiempo.

Muchos alumnos percibieron y se sirvieron de la idea de que “durante el proceso metamórfico sobreviene la fusión de las rocas iniciales y una posterior consolidación de estos materiales da lugar a las rocas metamórficas” para explicar el desarrollo de la esquistosidad así como la desaparición de los fósiles durante el metamorfismo.

Las ideas consideradas erróneas tales como, por ejemplo, “las rocas metamórficas no están formadas por minerales”, no permiten que los alumnos expliquen ningún fenómeno geológico que pueda ocurrir durante el proceso metamórfico. Estas ideas son muy fácilmente modificadas por estrategias de enseñanza y de aprendizaje.

El análisis de los resultados obtenidos en este estudio, así como la lectura de otros efectuados en el ámbito del MCA (Happs, 1985; Pedrinacci, 1992; Lillo, 1994; Álvarez y García de la Torre, 1996; Bazan y Vides, 1996; Granda Vera, 1998; Gobert, 2000; Trend, 2001; Dodick y Orion, 2003; Hidalgo, 2004), sobre temas de Geología, nos han permitido llegar a la conclusión de que existen dos grandes tipos de razones explicativas de la existencia de las concepciones alternativas identificadas. La primera corresponde al hecho de que los alumnos no hayan realizado previamente aprendizajes significativos, en Geología, esenciales para la comprensión del proceso metamórfico y la segunda, la propia complejidad del proceso metamórfico.

El estudio del tema “Metamorfismo” a nivel de 4º de ESO, exige que los alumnos hayan realizado previamente aprendizajes, relativos a conceptos básicos en el ámbito de Geología, como es el caso de los conceptos de roca, mineral y tiempo geológico. Con relación a este punto constatamos que muchas veces los alumnos:

- Poseen un concepto de roca muy alejado de la versión científica lo que puede explicar el hecho de que algunos tengan la idea errónea de que “las rocas metamórficas no están formadas por minerales”;

- Se sirven de criterios indebidos para definir el concepto de roca, como es el caso del peso, el tamaño y el color, lo que tal vez explique la existencia de idea errónea “,

- poseen una representación inadecuada del complejo concepto de tiempo geológico. Se sabe que las transformaciones químicas y mineralógicas del proceso metamórfico transcurren en un periodo de tiempo muy superior a la escala temporal humana. Este hecho asociado a que estas transformaciones se efectúen en estado sólido y no sean visibles, podrá explicar la concepción alternativa: “durante el proceso metamórfico no transcurren alteraciones estructurales o mineralógicas relevantes.

- poseen una visión estática del mundo y de los materiales que le componen. Muchas veces, se olvidan de fenómenos y procesos internos como es el caso de las orogénesis que no se ven y que necesitan de esquemas conceptuales más complejos para su comprensión.

Estos datos nos podrán ayudar a explicar la existencia de la idea errónea “el proceso metamórfico no se encuentra integrado en el ciclo geológico” y la

falta de establecimiento de articulaciones adecuadas entre diagénesis, metamorfismo y magmatismo.

Concretamente, en relación al metamorfismo, se hace evidente que conlleva procesos complejos que para su comprensión, exigen un elevado grado de abstracción y la integración de diferentes tipos de información. Con relación a este aspecto constatamos que:

- muchos alumnos sobrevaloran la acción de los fenómenos que observan, sobre todo la acción de los procesos geológicos destructivos, como es el caso de la erosión y del vulcanismo y deben de tener la idea que el metamorfismo implica una transformación, en cualquier contexto. Esto explica de algún modo la existencia de las concepciones alternativas “los agentes de dinámica externa son los principales responsables de la formación de las rocas metamórficas” y “durante el proceso metamórfico transcurre la fusión de las rocas iniciales y la posterior consolidación de estos materiales origina las rocas metamórficas”.

- En muchos casos, los alumnos poseen, esencialmente, una visión estática del mundo en la que no valoran la dinámica de las placas litosféricas. En otros casos, aunque consideren una acción de los agentes de dinámica interna y admitan la existencia de movimientos tectónicos tienen tendencia a valorar las fuerzas verticales que actúan en el planeta, sin considerar relevante la acción de la presión dirigida. Estos hechos deben explicar en parte la existencia de la concepción alternativa “la presión litosférica provoca la reorganización estructural de los minerales en planos definidos por una determinada dirección”.

## IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Los estudios realizados actualmente en el seno del MCA, no se pueden reducir a una simple identificación de ideas. Deben de ser conducidos a la definición de estrategias de enseñanza y de aprendizaje, promotoras de modificación conceptual, encuadradas en modelos de enseñanza de cariz constructivista (Lee e Low, 2001; Aufschnoites e Von Aufschnoites, 2003).

Hemos procurado encuadrar las concepciones alternativas y las ideas erróneas identificadas en uno de estos modelos de enseñanza, el modelo propuesto por Marques (1997) del cual forman parte las siguientes etapas, relativas a las ideas de los alumnos: el **Reconocimiento**, la **Reflexión**, y la **Revaluación**. Para cada una de estas etapas, que naturalmente se encuentran muy articuladas entre sí, presentamos propuestas susceptibles de ser usadas en estrategias de enseñanza y de aprendizaje promotoras de modificaciones conceptuales, relativas a algunos contenidos programáticos estudiados en el tema “Metamorfismo”, para alumnos de 4º de E.S.O. (15/16 años).

Presentamos en el Cuadro II, algunas propuestas de estrategias para la etapa del **Reconocimiento**, que deben, entre otras finalidades, permitir conocer las ideas de los alumnos relativas a cada uno de los tres subtemas en estudio: “Estructura de la materia”, “Acción de los agentes de metamorfismo” e “Interrelación con la geodinámica”.

Las propuestas presentadas para la etapa de **Reconocimiento** tienen como objetivos:

Etapa	Orientaciones para Estrategias de Enseñanza	Recursos Didácticos
<b>Reconocimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploración de esquemas y de diapositivas ilustrativos de aspectos del proceso metamórfico, como actividad generadora de cuestiones/problemas. Algunos de los problemas suscitados podrían ser:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Por qué las rocas metamórficas presentan una estructura diferente de las rocas originarias?.</li> <li>- ¿Por qué los fósiles existentes en las rocas metamórficas, se encuentran distorsionados?.</li> <li>- ¿Cuáles son los agentes responsables de las transformaciones estructurales y texturales que se producen durante el proceso metamórfico?.</li> </ul> </li> <li>- Construcción de un mapa de conceptos para identificación de las ideas de los alumnos sobre:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- los fenómenos que se producen durante el proceso metamórfico;</li> <li>- los agentes de metamorfismo y de su acción;</li> <li>- las interrelaciones entre metamorfismo, diagénesis y magmatismo;</li> <li>- la interrelación entre metamorfismo y procesos de dinámica interna.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuestiones abiertas y dirigidas.</li> <li>- Diapositivas, por ej., de:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• afloramiento de los esquistos donde son visibles pliegues;</li> <li>• muestras de capas de pizarra con fósiles distorsionados;</li> <li>• muestras de mano de mármol y calizas; pizarras y arcillas;</li> <li>• láminas delgadas observación mediante microscopio petrográfico, de mármoles y calizas, arcillitas y pizarras.</li> </ul> </li> </ul>

Cuadro II – Propuestas de estrategias de enseñanza-aprendizaje relativas al tema “metamorfismo”, para la etapa Reconocimiento.

- con relación a los alumnos:
  - ayudar a situar los conocimientos geológicos, ya adquiridos, relacionados con el proceso metamórfico;
  - pensar en sus propias concepciones sobre el asunto;
  - potenciar la formulación de problemas;
  - establecer conflictos con las concepciones previamente existentes.
- con relación al profesor:
  - conocer las representaciones previas de los alumnos relativamente a los fenómenos en estudio.
  - ayudar a definir estrategias/actividades que promuevan un conflicto conceptual y la modificación de las ideas iniciales, por otras más próximas de los conceptos considerados científicamente correctos;
  - promover la definición de metodologías de trabajo, que permitan la solución de cuestiones /problemas previamente planteadas.

Después de esta etapa, debe iniciarse la de **Reflexión** y a continuación la de **Reconstrucción**, para las que proponemos a continuación, propuestas de estrategias de enseñanza y de aprendizaje promotoras de

modificaciones conceptuales, con relación a los tres sub-temas en estudio, que son la “Estructura de la materia”, “Acción de los agentes de metamorfismo” e “Interrelación con la geodinámica”.

Respecto a la etapa de **Reflexión**, se sugieren propuestas de actividades, que además de proporcionar nuevas informaciones, promuevan un conflicto cognitivo, para que los alumnos puedan cuestionar las concepciones alternativas identificadas en este estudio y confrontarlas con los nuevos conocimientos. Además, estas actividades deben de permitir a los alumnos identificar problemas resultantes de la adquisición de nuevos conceptos y/o la reconstrucción de los ya existentes.

Concretamente, para el subtema “**Estructura de la materia**”, la realización de la actividad de laboratorio: “Observación de rocas metamórficas y de las rocas que corresponden a los respectivos protólitos”, bien en muestras de mano o en láminas delgadas, puede ayudar a los alumnos a comprender que:

- los elementos relativos al aspecto exterior de las rocas, como su forma y su color, no son criterios relevantes para la separación de las rocas metamórficas de los otros tipos de rocas;
- durante el proceso metamórfico acontecen

#### Estructura de la materia

Etapa	Orientaciones para estrategias de Enseñanza	Recursos Didácticos
<b>Reflexión</b>	Actividad de laboratorio: Observación de las rocas metamórficas y de las rocas correspondientes a los respectivos protólitos, para: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Identificación de algunos minerales constituyentes de las rocas metamórficas;</li> <li>– Identificación de las diferencias y semejanzas entre las rocas metamórficas y las equivalentes rocas iniciales;</li> <li>– Problemas planteados, generados por las observaciones efectuadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Muestras de mano de rocas metamórficas y de rocas correspondientes a los respectivos protólitos, por ej. de: mármol y calizas; filitas y arcillitas; gneis y granito.</li> <li>– Microscopio petrográfico y láminas delgadas de las rocas ya observadas en muestras de mano ej: mármol/calizas; filitas/arcillitas; gneis/granito, arcillita/corneana.</li> </ul>
<b>Reconstrucción</b>	Actividades de discusión: A – Elaboración, en grupo, de un poster científico sobre la serie pelítica ilustrando las principales transformaciones (mineralógicas y estructurales) que sufren las rocas, a medida que aumenta el grado de metamorfismo, seguido de su presentación y discusión a nivel del aula. B- Trabajo de grupo: realización de una ficha de trabajo, concierne las alteraciones de las rocas, durante el proceso metamórfico, seguido de una discusión inter-grupos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Poster elaborado por los alumnos.</li> <li>– Ficha de trabajo para consolidación de conocimientos sobre las alteraciones texturales y estructurales que se producen durante el metamorfismo, proporcionando informaciones sobre el proceso de recristalización, la formación de minerales índice y la reorganización espacial de algunos minerales en las nuevas condiciones de presión.</li> </ul>

Cuadro III – Propuestas de estrategias de enseñanza y de aprendizaje, para la fase de Reflexión y de Reconstrucción, relativas al sub-tema “Estructura de la materia”

### Acción de los agentes de metamorfismo

Etapa	Orientaciones para Estrategia de Enseñanza	Recursos Didácticos
<b>Reflexión</b>	<p>Actividad de laboratorio:</p> <p>A – Simulación de acción de algunos agentes de dinámica externa, (viento, temperatura y agua) para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– constatación de que estos agentes únicamente son responsables de la erosión de las rocas;</li> <li>– planteamiento de problemas, como el siguiente ? “¿cuáles son los agentes responsables de las alteraciones de las rocas durante el metamorfismo?”.</li> </ul> <p>B – Simulación de la acción de la presión dirigida y de la presión litosférica sobre las rocas, para que los alumnos discutan los efectos de cada uno de estos tipos de presión.</p>	<p>Protocolos experimentales. Diferentes clases de materiales como, por ej.: columna de sedimentación para simular la formación de estratos sedimentarios, secador para simular la acción del viento sobre las rocas, calefacción y congelador para simular, respectivamente la acción de las altas y bajas temperaturas sobre rocas como el granito.</p> <p>- Protocolo experimental. Cubetas de acrílico, harina, pizarra triturada y arena para simular la acción de la presión dirigida.</p>
<b>Reconstrucción</b>	<p>Actividad de discusión:</p> <p>A- Exploración de esquemas o figuras ilustrativas de acción de la temperatura y de la presión, para que los alumnos adquieran las informaciones necesarias para la caracterización de estos agentes de metamorfismo.</p> <p>B - Realización de una ficha de trabajo en grupo, para permitir a los alumnos establecer relaciones entre el desenvolvimiento de aspectos texturales y estructurales en las rocas metamórficas con la acción de los agentes de metamorfismo.</p> <p>C – Exploración de esquemas y figuras ilustrativos del metamorfismo de contacto y regional para el planteamiento de problemas.</p> <p>D- Trabajo de investigación para intentar responder a las cuestiones planteadas y su presentación y discusión a nivel de la clase.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diapositivas de afloramientos de esquistos y de corneanas en donde se constata respectivamente la acción de la presión dirigida y de la temperatura; esquemas, sobre la acción de la presión litostática y de la presión dirigida; diagramas ilustrativos de las alteraciones mineralógicas que sufre una roca a medida que aumentan los valores de temperatura y/o presión.</li> <li>– Ficha de trabajo para consolidación de los conocimientos sobre la acción de la temperatura, de la presión dirigida, y de la presión litosférica sobre las rocas.</li> <li>– Esquemas de una zona de subducción y de una zona donde se produjo una intrusión volcánica, para ilustración del proceso de metamorfismo regional y de metamorfismo de contacto.</li> <li>– Libros, artículos de periódicos y de revistas científicas, Internet.</li> </ul>

Cuadro IV - Propuestas de estrategias de enseñanza y de aprendizaje para la fase de Reflexión y de Reconstrucción, relativas al subtema “Acción de los agentes de metamorfismo”.

fenómenos de recristalización, pudiendo ocasionar la cristalización de minerales de neoformación, como acontece en la secuencia esquistoso arcilloso/filita, o la formación de un mosaico constituido por los mismos minerales, pero de mayores dimensiones, como es el caso de la secuencia caliza/mármol.

Además, esta actividad permitirá el planteamiento de varios problemas, que podrán ser explicados con la posterior investigación y elaboración de un poster científico y/o con la resolución y discusión entre grupos de una ficha de trabajo sobre las alteraciones estructurales y texturales que acontecen durante el proceso metamórfico.

Con relación al subtema “*Acción de los agentes de metamorfismo*”, la realización de una actividad de laboratorio, propuesta por los alumnos, para simular la acción de algunos agentes de dinámica externa (viento, temperatura y agua) podría permitir a los alumnos responder a algunos problemas planteados en la fase de Reconocimiento y modificar la concepción alternativa de que “los agentes de dinámica externa son los principales responsables de la formación de las rocas metamórficas”.

La actividad de laboratorio “simulación de acción de la presión dirigida y de la presión litosférica sobre las rocas”, podría contribuir a que los alumnos comprendiesen los efectos de cada uno de estos tipos de presión, responder a problemas planteados en el inicio de la unidad y modificar la idea errónea identificada previamente de que “la presión litosférica provoca la reorganización estructural de los minerales en planos definidos por una determinada dirección”. En esta actividad se puede utilizar una tinaja de acroleína, con un pistón, en la que se colocan, de abajo a arriba, capas horizontales de: arena, harina, fragmentos rectangulares de pizarra colocando al azar, harina y arena. Después de empujar muy lentamente el pistón hasta que las varias capas formen un pliegue y analicen un corte de ésta, los alumnos pueden constatar que los pequeños fragmentos de pizarra sufrieron una cierta orientación, lo que no acontece cuando se simula únicamente la acción de la presión litosférica.

Las actividades presentadas en la Etapa de **Reconstrucción**, deben servir para que los alumnos empleen y establezcan relaciones significativas entre los conocimientos adquiridos. En esta etapa se

sugieren, sobre todo, actividades de discusión tal como el examen oral basado en la proyección de esquemas o de diapositivas y la discusión intergrupos de cuestiones-problema presentadas por el profesor y trabajos de investigación efectuados por los alumnos.

Concretamente, para el subtema “*Acción de los agentes de metamorfismo*”, se propone inicialmente, la exploración de esquemas ejemplificativos:

- Lo que acontece, por ejemplo a un fósil de trilobite cuando es sometido a diferentes tipos de deformación: homogénea, heterogénea, elástica y plástica;
- de la acción de la temperatura, de la presión litosférica y de la presión dirigida sobre los minerales.

A continuación sugerimos la resolución de una ficha de trabajo en la que se sitúe a los alumnos ante situaciones-problema, en las cuales deben explicar, por ejemplo, el desarrollo de aspectos estructurales como la esquistosidad, la foliación y la lineación y de aspectos texturales como la formación de un mosaico de cristales de mayores dimensiones. Estas actividades podrán contribuir a que los alumnos comprendan que las rocas, en el dominio del metamorfismo se comportan como entidades plásticas y para que establezcan relaciones significativas entre el desarrollo de aspectos texturales y estructurales en las rocas metamórficas con la acción de los agentes metamórficos.

En relación al subtema “**Interrelaciones con la geodinámica**”, la presentación y la discusión a

#### Interrelación con la geodinámica

Etapa	Orientaciones para Estrategias de Enseñanza	Recursos Didácticos
<b>Reflexión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividad práctica: Trabajo de grupo; búsqueda de materiales fuera del aula para la elaboración, en el aula de un poster sobre el ciclo geológico, evidenciando las relaciones entre el metamorfismo, la diagénesis y el magmatismo, así como la acción de los agentes de dinámica interna y externa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Internet, libros y revistas científicas.</li> </ul>
<b>Reconstrucción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentación y discusión de los trabajos de grupo (poster sobre el ciclo de las rocas), a nivel de la clase.</li> <li>- Trabajo de investigación: Impactos ambientales resultantes de la acción del Hombre en la Geosfera, seguido de su presentación y discusión a nivel de la clase.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libros, revistas, artículos de periodicos, videos, Internet.</li> </ul>

Cuadro V – Propuestas de estrategias de enseñanza y de aprendizaje, para la fase de Reflexión y de Reconstrucción, relativas al subtema “*Interrelación con la geodinámica*”.

nivel de la clase del poster científico sobre el ciclo de las rocas, podrá contribuir a que los alumnos modifiquen la idea errónea de que “el proceso metamórfico no está integrado en el ciclo geológico” y la concepción alternativa de que “durante el proceso metamórfico se origina la fusión de las rocas iniciales y la posterior consolidación de estos materiales origina las rocas metamórficas”.

Las actividades propuestas en la fase de la Reconstrucción servirán también, para que los alumnos adquieran una visión dinámica y evolutiva de la Ciencia:

- Desarrollen una actitud crítica en relación al papel de la Ciencia en la Sociedad;
- Comprendan el carácter social y colectivo científico;
- Comprendan el funcionamiento y las interrelaciones existentes entre los diferentes subsistemas constituyentes del sistema Tierra.;
- Reconozcan la utilidad del conocimiento geológico para la interpretación de situaciones del cotidiano de los alumnos.
- Para que desarrollen una actitud crítica e intervencionista, como ciudadanos interesados en la defensa del sistema Tierra.

Se presentan, también propuestas de estrategias de enseñanza y de aprendizaje para la última etapa del modelo de enseñanza adoptado, que es la **Revaluación**.

Con relación a la fase de la **Revaluación** se proponen actividades que ayuden a cada alumno a con-

frontar sus concepciones iniciales con las nuevas concepciones, a reflexionar sobre las diferencias encontradas e intentar explicarlas de manera que se pueda confirmar que sus ideas sobre los fenómenos en estudio se han modificado. Estas actividades podrán igualmente ayudar a los alumnos a pensar como (re)construyen su propio conocimiento.

## CONSIDERACIONES FINALES

Organizaciones de profesores, investigadores en Educación en Ciencias y algunos políticos han reconocido la importancia de que en el currículo, de primaria y secundaria, se incluyan temas relacionados con las Ciencias de la Tierra, teniendo en cuenta la naturaleza de éstas y la necesidad de que los alumnos adquieran una formación científica adecuada a las exigencias de la sociedad actual. La inclusión de estos temas, aunque importante, exige asimismo que los profesores se encuentren preparados para pensar estrategias de enseñanza y de aprendizaje adecuadas al desarrollo de competencias de los alumnos y susceptibles de revelar la utilidad de los temas curriculares. La divulgación de los resultados resultantes de la investigación desarrollada en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias es una fuente de información fundamental para los docentes. En el contexto antes referido, la divulgación de los indicadores de este estudio, es importante para ayudar a los profesores de ciencias, en los diferentes niveles de enseñanza a: i) conceptualizar e implementar nuevas estrategias de enseñanza y de aprendizaje; ii) reflexionar sobre los actuales currículos de las asignaturas de ciencias estudiadas a nivel de

### Interrelación con la geodinámica

Etapa	Orientación para estrategias de Enseñanza	Recursos didácticos
<b>Revaluación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de un mapa de conceptos sobre el proceso metamórfico.</li> <li>- comparación del mapa de conceptos final con el inicial para:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- discusión de las principales diferencias entre los dos mapas de conceptos;</li> <li>- discusión de las relaciones establecidas entre los conceptos aprendidos.</li> <li>- comprensión del modo como se construye el conocimiento.</li> </ul> </li> <li>- Ficha de trabajo individual donde se enfoquen algunas situaciones-problema, para verificar si los alumnos (re)construyeron los conceptos y fenómenos abordados en las clases de forma significativa y en consecuencia, si los consiguen aplicar para responder a las situaciones propuestas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapas de conceptos</li> <li>- Ficha de trabajo individual</li> </ul>

Cuadro VI Propuestas de estrategias de enseñanza y de aprendizaje relativas a los tres subtemas en estudio que son la “Estructura de la materia”, “Acción de los agentes de metamorfismo” e “Interrelación con la geodinámica”, para la etapa de Revaluación.



primaria y secundaria y a nivel de enseñanza superior; iii) repensar la formación inicial y continua de los profesores que enseñan asignaturas de ciencias; iv) compartir experiencias lectivas y de investigación realizadas.

Con los indicadores de la investigación, aquí presentados se intenta que los profesores responsables de la enseñanza de temas relacionados con las Ciencias de la Tierra, adquieran informaciones adicionales con las que puedan contribuir para un diseño de estrategias innovadoras y apelativas para los alumnos, en lo que concierne a la enseñanza y aprendizaje del metamorfismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R.; García De La Torre, E. (1996). *Os Modelos Analógicos en Geología: Implicaciones Didácticas. Ejemplos Relacionados con el Origen de Materiales Terrestres*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 4(2). 133-139.
- Association For Science Education. (1998). Science Education for the Year 2000 and Beyond. *Education in Science*. 176. 17-20.
- Barnet, M.; Morran, J. (2002). *Addressing children's alternative frameworks of the moon phases and eclipses*. International Journal of Science Education. 24(8). 859-879.
- Bazan, C.; Vides, M. (1996). *Evaluación de Preconceptos de Geología en Alumnos Ingresantes a la Universidad*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 3(3). 164-168.
- Cachapuz, A. (1998). *Ensino das Ciências e Mudança Conceptual: Estratégias Inovadoras de Formação de Professores*. Ensino das Ciências. Instituto de Inovação Educacional. Ed. Afrontamento. Ministério da Educação.
- Cachapuz, A.; Praia, J.; Jorge, M. (2000). *Reflexão em torno de perspectivas do Ensino das Ciências. Contributos para uma nova orientação curricular – Ensino por pesquisa*. Revista da Educação. 10(1). 69-77.
- Cachapuz, A.; Praia, J.; Jorge, M. (2002). *Ciência, Educação em Ciências e Ensino das Ciências*. Ministério da Educação. 1ª Ed.
- Dodick, J. Orion, N. (2003). *Measuring student understanding of geological time*. Science Education. 85(5). 708-731.
- Driver, R.; Ericson, G. (1983). *Theories-in-Action: Some Theoretical and Empirical Issues in the Study of Students' Conceptual Frameworks in Science*. Studies in Science Education, 10. 37-60.
- Driver, R. (1989). *Student's Conceptions and Learning of Science*. International Journal of Science Education. 11. 481-490.
- Duit, R.; Treagust, D. (2003). *Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning*. International Journal of Science Education. 25(6). 671-688.
- Erickson, G. (1979). *Children's Conceptions of Hearth and Temperature*. Science Education, 63(2). 221-230.
- Erickson, G. (1980). *Children's Viewpoints of Heat: A Second Look*. Science Education. 64(3). 323-336.
- Gil-Perez, D.; Carrascosa, J. (1990). *What to do About Science "Misconceptions"?*. Science Education. 74(5). 531-540.
- Granda Vera, A. (1988). *Esquemas Conceptuales Previos de los Alumnos en Geología*. Enseñanza de las Ciencias. 6(3). 239-243.
- Gober, J. (2000). *A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding*. International Journal of Science Education. 22(9). 937-977.
- Happs, J. (1985). *Regression in Learning Outcomes: Some Examples From the Earth Sciences*. European Journal of Science Education. 7(4). 431-443.
- Hidalgo, J.; Otero, J. (2004). *An analysis of the understanding of geological time by students at secondary and post-secondary level*. International Journal of Science Education. 26(7). 845-857.
- Kuiper, J. (1994). *Student Ideas of Science Concepts: Alternative Frameworks?*. International Journal of Science Education. 16(4). 279-292.
- Lee, Y.; Low, N. (2001). *Explorations in promoting conceptual change in electrical concepts via ontological category shift*. International Journal of Science Teaching. 23(2). 111-149.
- Lillo J. (1994). *Análises de Errores Conceptuales en Geología a Partir de las Expresiones Gráficas de los Estudiantes*. Enseñanza de las Ciencias. 12(1). 39-44.
- Marques, L.; Thompson, D. (1997). *Misconceptions and Conceptual Changes Concerning Continental Drift and Plate Tectonics Among Portuguese Students Aged 16-17*. Research in Science & Technological Education. 15(2). 193-222.
- Martins, I. (2002). *Educação e Educação em Ciências*. Universidade de Aveiro. 1ª Ed.
- Mayer, V. (2001). *A alfabetização global em ciências no currículo da escola secundária*. Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário. Universidade de Aveiro. 169-190.
- Nacional Science Education Standarts.(1996). National Academy Press. Copyright by National Academy of Sciences. Virginia. U.S.A.
- Nussbaum, J. (1989). *Classroom Conceptual Change: philosophical perspectives*. International Journal of Science Education. 11. 530-540.
- Oliva, J. (2003). *The structural coherence of students' conceptions in mechanics and conceptual change*. International Journal of Science Education. 25(5). 539-561.
- Paik, S.; Kim, H.; Park, J. (2004). *K-8th grade Korean students' conceptions of changes of state and conditions for change of state*. International Journal of Science Education. 26(2). 207-224.
- Pedrinaci, E. (1992). *Las Rocas Tienen Una Historia que Conternos*. Aula. Nº 4-5, 33-35.
- Pintó, R.; Aliberas, J.; Gómez, R. (1996). *Tres Enfoques de la Investigación sobre Concepciones Alternativas*. Enseñanza de las Ciencias. 14(2). 221-232.
- Santos, M. (1991). *Mudança Conceptual na Sala de Aula - Um desafio pedagógico*. Lisboa. Biblioteca do Educador. Livros Horizonte.
- Scott, P. (1987). *A Constructivist view of Learning and Teaching Science*. Children's Learning in Science Project. Leeds University.
- Schmidt, H; Volke, D. (2003). *Shift of meaning and students' alternative concepts*. International Journal of Science Education. 25(11). 1409-1424.
- Trend, R. (2001). *Deep time Framework: A preliminary study of U.K. Primary Teacher's Conceptions of Geological Time and Perceptions of Geoscience*. Journal of Research in Science Teaching. 38(2). 191-221.
- Tsai, C.; Tung, C. (2001). *Ideias about earthquakes after experiencing a natural disaster in Taiwan: An analysis of students' wordviews*. International Journal of Science Education. 23(10). 1007-1016.
- Von Aufschnoites, C.; Von Aufschnoites, S. (2003). *Theoretical framework and empirical evidence of students' cognitive processes in three dimensions of content complexity and time*. Journal of Research in Science Teaching. 40(7). 616-48.
- Wandersee, J.; Mintzes J.; Novack, J. (1994). *Research on Alternative Conceptions in Science in Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. In A project of the National Science Teachers Association. Copyright. Mcmillan Publishing Company. New York. ■