

# EXPERIENCIAS E IDEAS PARA EL AULA

## INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA EN LA ESCUELA PRIMARIA: UNA EXPERIENCIA SOBRE LOS FENÓMENOS VOLCANICOS

*Didactic Research in the primary school: an experience on the volcanic phenomena*

Monica Onida (\*) y Laura Segalini (\*\*)

### RESUMEN

*Esta experiencia es el resultado de una estrecha colaboración entre un 3er curso de una escuela primaria y el grupo de investigación en didáctica de las ciencias del Departamento de Ciencias Humanas para la Formación de la Universidad de Milano-Bicocca (Italia).*

*El objetivo principal del trabajo ha sido conducir a los alumnos hacia una concepción sistémica y dinámica del planeta, utilizando una metodología activa y experimental. Después de la visión de un vídeo sobre los fenómenos geológicos más importantes, los alumnos eligieron empezar a estudiar los fenómenos volcánicos. Fueron diseñadas algunas experiencias para visualizar lo que pasa dentro de un volcán y comprender por analogía el mecanismo de ascenso y erupción de la lava. Se utilizó un acercamiento de tipo fenomenológico: los alumnos han construido su conocimiento científico mediante un proceso de observación y experimentación, de formulación de hipótesis y de nuevas preguntas. Los aprendizajes más significativos son las competencias transversales, léxicas y lógico-deductivas. A nivel conceptual-disciplinar, quedan problemas abiertos relacionados con los numerosos fenómenos y conceptos físicos implicados. Por tanto, para estudiar la Tierra se deben tener en cuenta y planificar actividades paralelas relacionadas con situaciones físicas básicas.*

### ABSTRACT

*This experience is the result of a close collaboration between a third class of primary school and the Department of Human sciences of Formation of University of Milan-Bicocca (Italy). The present work describes an experience that means to guide the pupils towards a dynamic and systemic conception of the Earth, using an experimental methodology. After the vision of a video about Earth's main geologic phenomena, the class decided to start to study the volcanic phenomena. We realized some experiences to visualize what happens into a volcano and to understand, in analogy, the real volcano eruption mechanism. We propose a phenomenological approach: the pupils have gradually built the scientific knowledge through a process of observation and experimentation, formulation of hypotheses and new answers. The most significant learning are the transverse lexical and logical-deductive competences. Open problems about the numerous implied physics phenomena and concepts remain. Consequently it is necessary to plan parallel actions related to basic physics ideas.*

**Palabras clave:** acción-investigación, enseñanza de las Ciencias de la Tierra, aprendizaje, volcán, acercamiento fenomenológico.

**Keywords:** research-accion, Earth's sciences teaching, learning, volcano, phenomenological approach.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hasta hoy, escuela y universidad han trabajado sobre todo en líneas paralelas y los dos recorridos se han encontrado por casualidad o esporádicamente. Para renovar la enseñanza de las ciencias es fundamental una integración fuerte entre investigación didáctica y enseñanza.

La investigación didáctica tiene que considerar la situación real de un contexto operativo definido

por una escuela formada por docentes y niños. En el contexto italiano esta escuela se caracteriza por profesores que no tienen una formación didáctica adecuada para enseñar Ciencias de la Tierra; por esto se da en general mayor importancia a los temas relacionados con la biología, mientras las Ciencias de la Tierra son tratadas de forma simplificada, superficial, fragmentada, descriptiva, ciertamente no fenomenológica. Además, los libros de texto (subsidiarios) no ayudan a los profesores, ya que las

(\*)Facultad de Educación - Universidad de Milano-Bicocca, Piazza Ateneo Nuovo 1, 20126 Milano, Italia.

monica.onida@unimib.it

(\*\*)Escuela Primaria, via Feraboli 44, Milano, Italia

Ciencias de la Tierra vienen todavía presentadas, en la mayoría de los casos, de una forma descriptivo-positivista y además están fragmentadas entre la geografía, las ciencias, el medio ambiente y la historia.

Este enfoque de enseñanza contrasta fuertemente con la evolución histórica epistemológica del conocimiento sobre las Ciencias de la Tierra: tras la revolución científica que da lugar a la teoría de la Tectónica de Placas, la enseñanza de la geología no puede limitarse solamente a describir los hechos con una aproximación de tipo positivista (que ha dominado más o menos sin cambios en todo el mundo hasta el final de los años sesenta) sino que necesita también una revolución en el sentido de contemplar la comprensión de los procesos y de las relaciones existentes entre ellos, partir de lo general, de lo complejo para después separar y detallar (Monchamp & Sauvageot-Skibine, 1995; Wyllie, 1971; Morin, 1999).

Este enfoque de enseñanza, además, contrasta también con la modalidad de observar y pensar de los niños que es naturalmente sistémica y que ellos manifiestan con curiosidad y con preguntas que reflejan las mismas cuestiones que guiaron a los científicos en su investigación (Gohau, 1995).

En los cursos recientes de la diplomatura en Ciencias de la Formación primaria, las cosas están cambiando en lo referente a la preparación universitaria de los maestros de escuela primaria. Sin embargo, queda el problema de la formación de los profesores de la escuela secundaria y de la universidad y de los profesores que ya están en servicio. Además, las oportunidades de actualización, puesta al día son esporádicas y no están estructuradas de forma predefinida sino dejadas a merced de iniciativas libres de organismos privados o de la universidad.

Sería necesario fomentar una amplia reflexión entre el gobierno, el mundo académico y el mundo de la escuela, sobre cómo y qué enseñar en el campo de las Ciencias de la Tierra en la escuela primaria y la secundaria de primer grado para promover un cambio estructural en la línea guía impartida a nivel nacional y en el planteamiento de la enseñanza de cada orden y grado (Manduca, 2007; Perkins, 2007; Wirth, 2007).

## **2. FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS Y DIDÁCTICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta experiencia es el resultado de una estrecha colaboración operativa y de programación entre un 3er curso de una escuela primaria de Milano y una investigadora del Departamento de Ciencias Humanas para la Formación de la Universidad de Milano-Bicocca.

El objetivo principal de la colaboración ha sido desarrollar una reflexión sobre la enseñanza de las Ciencias de la Tierra con metodologías preponderantemente experimentales, integrando diferentes competencias.

Los autores se inspiraron principalmente en las líneas generales que fueron definidas por Guidoni (2004), Alfieri et al. (2000), Arcà et al. (1990), Clement et al. (1989), Arcà & Guidoni (1987), y desarrolladas por un grupo de investigadores de la Universidad de Milano-Bicocca alrededor del tema "La Tierra y el Universo" parte del proyecto italiano F21 (Física para el siglo 21), coordinado por el profesor Paolo Guidoni (Giordano et al., 2006).

De acuerdo con estas líneas y con la literatura más específica sobre la enseñanza de las Ciencias de la Tierra (Pedrinaci, 2003 y 2006; Brown et al., 2001; Monchamp & Sauvageot-Skibine, 1995; Sauvageot-Skibine 1995; Orange, 1995; Bezzi, Massa & Pedemonte, 1998; Pedemonte, 1992), los autores piensan que el objetivo fundamental de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra es facilitar a los estudiantes el familiarizarse progresivamente con la idea de un planeta sistémico y dinámico, llevándolos a interpretar las relaciones entre algunos de los fenómenos más importantes, desde el nivel de la escuela de la infancia.

Por esto se considera que se debe partir de la complejidad (hay diversos niveles de tamaño y de complejidad en los cuales se organiza la realidad a través de los cuales es posible observarla e interpretarla: sistemas y relaciones entre sistemas a escala micro, meso, macro, entre lo externo y lo interno, etc.) para después proceder simplificando, estudiando las partes separadamente, pero seguir conectándolas para entender las relaciones causales y espacio-temporales que participan en la construcción del conjunto complejo.

A nivel de enseñanza, entonces, se piensa que es fundamental utilizar un acercamiento fenomenológico y organizar el conocimiento desde un punto de vista sistémico.

La observación sería el instrumento principal por un acercamiento fenomenológico, pero por observar la Tierra en su complejidad se necesita de tiempos muy largos, espacios muy grandes en varias dimensiones e instrumentos que permitan ampliar nuestra vista y percepción en el espacio (dentro de la Tierra) y en el tiempo. Por estos motivos, cuando la observación directa en el campo no es posible o suficiente, es necesario utilizar también otras estrategias alternativas que permitan a los estudiantes "observar" los hechos indirectamente, por ejemplo mediante vídeos, películas, fotos, narraciones.

Dada su complejidad, la mayoría de los fenómenos geológicos no son ni directamente controlables por el ser humano, ni reproducibles en laboratorio a través de un simple experimento. Por eso el uso de modelos y simulaciones adquieren un papel fundamental, haciéndose los instrumentos de investigación principales para comprender los fenómenos y reconstruir la historia de la Tierra. Durante la construcción de los modelos interpretativos (cinemáticos y dinámicos), con la acción mediadora de los profesores, los estudiantes pueden aprender a construir la idea que hay sistemas a diferentes escalas

del espacio (minerales y fósiles, rocas, sistemas geológicos principales), operando en forma combinada entre ellos y que el aspecto actual del planeta depende de los procesos de formación, evolución e interacción dinámica entre los sistemas y sus variables principales.

### 3. METAS DIDÁCTICAS Y MODALIDADES DE TRABAJO

Las grandes **metas didácticas** que han conducido este trabajo son:

- construir la idea de movimiento y transformación, en oposición a la idea de permanencia relacionada con la experiencia sensorial de los niños. La idea de la sustancial inmovilidad de la Tierra y de los objetos geológicos es un malentendido común (Allain, 1995; Massa & Pedemonte, 1998; Tonon & Ferrero, 2000). Es muy importante que los estudiantes entiendan que el equilibrio entre las partes del sistema Tierra no es estático sino dinámico. Hay cambios, aunque la mayoría de ellos no se pueden percibir debido a su baja velocidad.
- construir la idea de complejidad y variedad de la realidad y estimular un aprendizaje significativo de los conceptos científicos basado sobre la identificación de los sistemas en la interacción y de las variables físicas que caracterizan los fenómenos (Arcà & Guidoni, 1987).
- estimular el interés por las causas de lo que observan o se imaginan y la búsqueda de una explicación sobre cómo ocurren las cosas. Estimular la búsqueda de las relaciones entre las cosas para llegar a percibir el exterior de la Tierra como diferente del interior y tener que investigarlo.

Los objetivos específicos de aprendizaje no han sido predeterminados, sino extraídos de las preguntas y las reflexiones de los niños.

El resultado es un recorrido dinámico, “dibujado” en función de las reflexiones de los alumnos después de cada experiencia como en un recorrido de acción-investigación.

A nivel metodológico se han compartido las siguientes modalidades de trabajo:

- la observación, aunque fuese indirecta, como instrumento de investigación principal;
- la disposición de experiencias directas, modelos estáticos y dinámicos para intentar reproducir las estructuras y los fenómenos no perceptibles. De esta forma es posible conducir a los estudiantes hacia su propia interpretación, en la base de la “experiencia concreta personal”, sin empujarlos a moverse en un plan exclusivamente abstracto;
- la discusión entre los alumnos, en grupos grandes y pequeños dentro de los cuales los conductores juegan un papel de intermediarios

dejando mucho espacio a las preguntas y no regalando respuestas inmediatas, sino conducir a los niños hacia su extrapolación a través de la formulación de suposiciones sobre las experiencias;

- la sistematización de las ideas;
- la documentación: registro de las discusiones y notas (protocolos), dibujos, fotos, carteles.

### 4. EL RECORRIDO

El punto de partida de todo el recorrido ha sido una pregunta de máximo interés hecha por los niños durante una actividad de estudio y de análisis del terreno del propio jardín: ¿dónde termina el terreno (suelo) y dónde comienza la Tierra? La pregunta ha sido utilizada como un estímulo-motivación para afrontar otro aspecto disciplinar de las Ciencias de la Tierra de gran interés pero difícil de tratar: el modelo interno de la Tierra.

Teniendo así como último objetivo llegar a descubrir cómo está hecho el interior de la Tierra, se ha decidido partir de un acercamiento que fuese al mismo tiempo fenomenológico y sistémico, eligiendo un vídeo, sin comentarios hablados, que mostrara grandes paisajes de la Tierra (montañas, desiertos, ríos, océanos, glaciares, fallas geológicas) y varios fenómenos geológicos (volcanes, geisers, terremotos, erosión, etc.). La proyección del vídeo tenía un doble propósito:

- mostrar la variedad y la complejidad fenomenológica de los paisajes de la Tierra (casi nunca observable directamente) permitiendo indagar a los niños a través de una visión sistémica y estimulándolos a individualizar las partes y las conexiones entre ellas;
- suscitar emociones. Los niños han buscado las palabras para expresar las emociones percibidas mirando el vídeo.

El paso siguiente ha sido pasar de la complejidad del sistema Tierra a una “simplificación” que permitiera individualizar las diferentes partes del sistema y seleccionar e indagar sobre una, estudiándola de forma separada para acabar relacionándola con las otras partes y recomponer el marco global.

Al final del pase de vídeo y de la puesta en común de las emociones, se les ha pedido a los niños que eligieran un único aspecto a estudiar; ellos han elegido lo más emocionante: los volcanes. Desde el punto de vista didáctico, cualquiera que hubiera sido la elección “emotiva” de los alumnos, ésta habría conducido de todas formas al modelo de la Tierra, ya que cualquiera de los argumentos tiene “raíces profundas”.

A partir de este momento, el trabajo se ha trasladado así del sistema de la Tierra al sistema volcán, entendido a la vez como un sistema dinámico caracterizado por determinadas variables (físicas, químicas y geológicas). Ya que el objetivo último era el de llegar a descubrir cómo está hecha la Tierra, se ha planteado como objetivo previo entender

cómo están hechos los volcanes en su interior y comprender su mecanismo de funcionamiento. Estos objetivos disciplinarios han requerido un gran esfuerzo para individualizar qué conceptos científicos podían ser enseñados y comprendidos por niños de 8 años y de que forma. Ha sido un recorrido de investigación-acción con el objetivo de co-construir los aprendizajes a través de la interacción.

Esta forma de proceder ha requerido mucho tiempo, un tiempo considerable para la realización de la experiencia y todavía más para las discusiones-puesta en común: de media dos horas por día durante aproximadamente 18 semanas.

En este artículo sólo presentamos el trabajo relativo al desarrollo de la parte específica de volcanes. Por tanto, no se llegará a “cerrar el círculo”, como se ha dicho en la introducción, con el tratamiento de la constitución interna de la Tierra porque en realidad, por ahora, sólo ha habido tiempo de hacer una breve reseña al final de la actividad, pasando a través del estudio de las rocas. Como objetivo para el próximo año escolar se intentará conducir a los niños hacia la comprensión de la constitución interna de la Tierra a partir del conocimiento adquirido sobre los volcanes.

Los objetivos específicos de partida han buscado la comprensión de los siguientes fenómenos:

- la fusión de las rocas del manto (cambio de estado) y la formación del magma;
- el movimiento de ascenso del magma en relación con el cambio densidad/peso específico del material implicado.
- la removilización del magma de la cámara magmática hacia la superficie en relación a la presión (por la llegada de un nuevo magma o por disminución de la presión confinante; por la liberación de gas).
- la presencia del gas en el magma como elemento que condiciona la explosividad de las erupciones.

El modo de reaccionar de los niños a la actividad que habíamos propuesto ha hecho emerger gradualmente la necesidad de trabajar en torno a otros objetivos disciplinares más específicos:

- una vez ha salido la lava, ésta discurre, más o menos lentamente (viscosidad) y después se enfría (más o menos rápidamente) y se vuelve sólida: roca volcánica;
- el edificio volcánico se forma seguidamente a la erupción y está hecho de una cámara magmática, un conducto volcánico, un cono de forma y dimensiones variables y un cráter;
- comprender la diferencia entre magma y lava (ligada a la pérdida de gas durante la salida del conducto) y entre lava y roca volcánica ligada a la solidificación).

En el recorrido hecho con los niños se pueden individualizar tres modalidades de trabajo, que no se desarrollan de forma secuencial, mas bien se alter-

nan y repiten: la modalidad de imaginación y construcción de ideas; la de la experiencia y la reelaboración de éstas y por fin la modalidad de control y sistematización del aprendizaje.

#### 4.1 Imaginación y construcción de ideas

Dado que no existen volcanes cerca de la escuela, se ha propuesto a los niños la proyección de otro vídeo sobre los volcanes, pidiéndoles observar con atención y comprender lo que estaba ocurriendo. Luego los alumnos, trabajando en grupo, han construido un modelo de volcán y un mecanismo de erupción (Fig. 1).



Fig. 1: Modelos de volcán que los alumnos han construido en grupo, intentando de representar incluso el mecanismo de erupción

La actividad ha puesto en juego varias dimensiones:

- La dimensión del “hacer”: los alumnos tenían que planificar y luego realizar el modelo, pidiendo los materiales que consideraban necesarios, escogiéndolos entre los que estaban disponibles (cartulinas, hojas de plásticos coloreadas, papel celo, pegamento, tijeras, marcadores).
- La dimensión geométrica y espacial: los alumnos se preguntaban como tiene que ser un modelo, si puede ser también bidimensional (“¿un dibujo puede ser un modelo?”), llegando a sentir la necesidad de realizar un modelo tridimensional.
- La dimensión lógica y lingüística: se estimulaba a los niños a hacerse preguntas relevantes desde el punto de vista científico (“¿de dónde llega y a dónde va la lava?” “¿Cuál es el límite entre lava y roca?” “¿De qué material está hecho un volcán?”) y a explicar cómo y porqué han realizado su modelo.
- La dimensión cooperativa: el trabajo de grupo ha requerido implicación pero ha parecido clara, para los niños, la doble dificultad de desapegarse de las ideas propias para aceptar una del grupo y para buscar una idea compartida que naciese de las diferentes contribuciones. En general ha sido la idea de un niño/a la que ha prevalecido y ha sido aceptada por los otros. Un niño de un grupo ha manifestado su

insatisfacción diciendo... *“me ha fastidiado porque yo no quería hacer el modelo en grupo, quería hacerlo solo”*...Y otro niño ha necesitado precisar: *“cada grupo se tiene que poner de acuerdo para decir las cosas”*.

Al final de esta parte del trabajo han surgido claramente algunos de los preconceptos de los niños que utilizan un lenguaje científico correcto, aunque no conozcan exactamente el significado. Se trata de intuiciones positivas que son valoradas y no despreciadas o ignoradas para permitir al niño decidirse a hacer la propia construcción de conocimiento (Clement et al., 1989). Los niños dominan bien los efectos de los fenómenos (utilizando espontáneamente palabras como lava, rocas, erupción) y muestran tener una clara intuición del concepto de causa-efecto. Las causas, sin embargo, no son conocidas y vienen representadas por analogía con la experiencia cotidiana, haciendo referencia al fenómeno del agua que hierve, al del fuego y al del aire, el viento:

*“Para mí la lava sale del volcán porque por arriba y por abajo se encuentra agua hirviendo que la empuja fuera”*.

*“yo creo que por debajo del volcán hay un chorro de aire que empuja”*.

*“para mí la lava sale del volcán porque se calienta demasiado”*.

*“yo creo que por debajo del volcán hay muchísimo aire, muy fuerte, que empuja, empuja hasta que el volcán hace una erupción”*.

*“Para mí el volcán funciona así: la lava sale porque abajo hay mucha lava, y cuando llega más la lava se hace caliente y explota con un calor muy fuerte.”*

*“Para mí la lava sale porque abajo hay un fuego que si es poco el volcán hierve, si es mucho entra en erupción”*.

#### 4.2 Experiencias directas: observación e interpretación de los fenómenos observados.

La etapa siguiente del recorrido ha sido concebida para brindar a los niños los instrumentos culturales para poder atribuir a algunas de las palabras su

significado más correcto e integrar y reestructurar el propio pensamiento sobre la comprensión de los fenómenos. Se han propuesto algunas experiencias para visualizar lo que pasa dentro de un volcán y comprender, por analogía, el mecanismo del movimiento y de la erupción de la lava (Martí y Folch, 1999; Pujadas et al. 1999).

##### 4.2.1 Experimento de la cera

Como actividad principal hemos propuesto un experimento que se describe en la página [www.earthscienceeducation.com](http://www.earthscienceeducation.com), para simular una erupción, pensado para alumnos de 11-14 años: una capa de cera está al fondo de un *becher* (vaso de precipitados), cubierta por una capa de arena y una de agua; se calienta el *becher* sobre un hornillo, parte de la cera se funde, sube líquida a través de la arena y del agua, luego se solidifica (Fig. 2).

El experimento ha tenido doble finalidad: (a) mostrar mediante simulación la formación y el movimiento del magma dentro de la Tierra; (b) ofrecer a nosotros y a nuestros profesores la posibilidad de verificar su aplicabilidad con niños de la escuela primaria.

A los alumnos les hemos pedido observar atentamente y describir con palabras y dibujos lo que habían comprendido:

*“...pues la cera, la más cercana al hornillo, ha empezado a calentarse y poco a poco se ha transformado en dos colores, rojo claro (todavía dura) y rojo oscuro (cera líquida) y después el agua ha comenzado a hervir y se ha puesto turbia”*.

*“Cuando la cera subía era líquida y después, al salir, dura”*.

*“La cera se disuelve, atraviesa la arena y va hacia el agua”*.

*“En cierto punto, la cera, el agua y la arena han cambiado de lugar: la arena en el lugar de la cera, la cera en el lugar del agua y ésta en el lugar de la arena”*.

El experimento se repitió cuatro veces para mostrar como cada vez puede ser diferente y que modificando algunas variables se pueden obtener resultados diferentes. Los alumnos han identificado claramente algunas variables (para ellos son componentes del experimento) y han querido jugar con



Fig. 2: Tres momentos del experimento de la cera: los alumnos han tenido la posibilidad de observar que la cera sólida (rojo claro), cuando se calienta se vuelve líquida (rojo oscuro) y se mueve hacia arriba, pasando a través de la arena superior sólida y de la agua, sobre la cual la cera flota y se vuelve nuevamente sólida.



Fig. 3: Otra situación final del experimento de la cera repetido una segunda vez (a); el experimento de la cera repetido sin arena (b). Sin arena pesando sobre la cera, cuando se calienta un poco, la cera se aglutina en un unico bloque desde las paredes del becher y sube hasta arriba. Para hacerla fundir completamente hemos debido detenerla abajo, haciendo presión con una pinza.

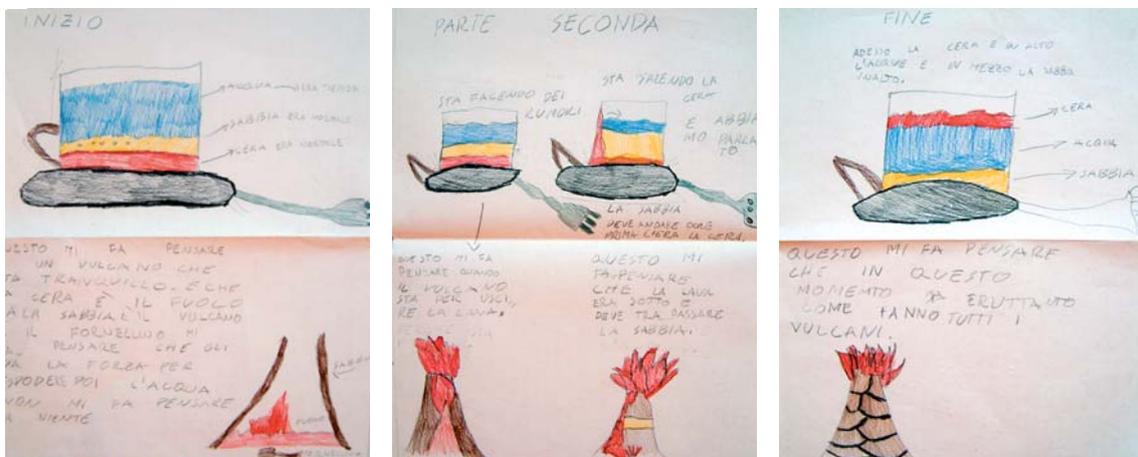


Fig. 4. Crono-dibujos de un alumno sobre la experiencia de la cera comparada con el volcán. Al comienzo: “Esto me hace pensar en un volcán que está tranquilo, que la cera es el fuego, la arena el volcán, y el calentador me hace pensar en lo que le da la fuerza para explotar. El agua no me hace pensar en nada.” Etapa intermedia: “Esto me hace pensar en un volcán que está a punto de dejar salir la lava y que la lava estaba abajo y tiene que pasar a través de la arena”. Al final: “Esto me hace pensar que en este momento está en erupción como hacen todos los volcanes”.

éstas. Por ejemplo, se preguntaron “¿Qué pasa sin la arena?” (Fig. 3).

A continuación pedimos a los niños que “reconocieran por analogía” algunas variables que caracterizan el sistema volcánico diseñando individualmente un crono-dibujos sobre la experiencia de la cera como analogía (representación modélica) del volcán (Fig. 4).

El experimento de la cera ha permitido identificar e interpretar sin dificultad algunas de las variables que juegan en los procesos fisico-vulcanológicos: la fusión de la cera que es como la lava (y en consecuencia, la sugerencia de que la lava no existe a priori sino que se forma dentro la Tierra); su movimiento hasta arriba a través de la arena y del agua, hasta salir fuera del volcán, identificado con la arena.

Al mismo tiempo, se han dado algunas **dificultades de interpretación**:

- 1) Algunas relacionadas con los materiales utilizados en el experimento, sobre todo por el significado que los alumnos han atribuido al **agua** (¿agua o aire o nada?; ¿está fuera o dentro del volcán?, Fig. 5) y al **hornillo** (¿fuego o fuerza?, Fig. 6). Las palabras de los niños evidencian una de las concepciones más comunes en los alumnos (aunque también en los adultos), que creen que en el centro de la Tierra hay fuego o magma y que identifican la temperatura elevada con el fuego. Creemos que podría ser interesante individualizar otros materiales con los que realizar la misma prueba experimental y verificar su aplicabilidad.
- 2) otras dificultades están relacionadas con la comprensión de las causas de los fenómenos físicos observados en el experimento, como por ejemplo el movimiento de la cera a causa



Fig. 5: Crono-dibujo de un alumno sobre la experiencia de la cera comparada con el volcán (hemos incluido solamente las partes de dibujo que representan la interpretación del volcán). Al comienzo: “Para mi es como un volcán apagado que tiene abajo la lava, y arriba la tierra y arriba las gotas de agua”. Etapa intermedia: “Esto me hace pensar en un volcán que está despertándose”. Al final: “Esto me hace pensar que la lava no puede sostener más la tierra y sube”.



Fig. 6: Crono-dibujo de un alumno sobre la experiencia de la cera comparada con el volcán (hemos incluido solamente las partes de dibujo que representan la interpretación del volcán). Al comienzo: “el volcán está parado y tranquilo; abajo hay fuego tranquilo”. Etapa intermedia: “el volcán está preparado para la erupción; fuego medio”. Al final: “el volcán está en erupción; fuego caliente”.

de un gradiente de densidad. Los alumnos tienen una idea espontánea sobre qué es una cosa densa (“Pero...¿Qué quiere decir denso?” “Que aún no es blando del todo”; “Dense quiere decir...pringoso...algo intermedio entre lo duro y lo blando, no es ni duro ni blando”) pero sin ser capaces de expresar su significado en forma matemática. Ellos utilizan más fácilmente las palabras pesado/ligero (entendiendo, en verdad, el peso específico o la densidad), pero solamente un alumno ha intuido una relación entre el peso específico/densidad y la subida de la cera: “la cera se había fundido, era más ligera que el agua y ha salido a flote”. Los otros han individualizado una relación entre la cera que flotaba sobre el agua y el peso específico/densidad pero sin ser capaces de transmitir esta idea “estática” (flotación) a la idea dinámica sobre la causa de ascenso de la cera.

#### 4.2.2. Otras experiencias

Trabajando con modelos dinámicos ha surgido la necesidad de comprender mejor algunos **conceptos físicos de base** que son indispensables para poder comprender el sistema volcánico en su complejidad, dadas las relaciones entre numerosas variables físicas que los niños de la escuela primaria no siempre han tratado: fusión y solidificación; transmisión de calor y formación de un gradiente de temperatura, densidad y presión; peso específico y flotación.

Por ello, una experiencia sola no es suficiente. Se han realizado así otras experiencias transversales

relacionadas con algunos de estos conceptos, que ahora solamente señalamos sin entrar a fondo en aquello que se ha discutido y tratado en la escuela.

**1) Fusión y solidificación.** Para ayudar a los niños a comprender mejor el fenómeno de la fusión y de la solidificación, se ha preparado una experiencia con el objetivo de observar el comportamiento de diferentes materiales (chocolate, mantequilla, piedras, hielo) ante diferentes condiciones de temperatura: sobre el hornillo, en la mano, en la boca, en el bolsillo (Fig. 7).

Durante la discusión se ha visto claramente como los alumnos no tenían claro los conceptos físicos de temperatura y de calor, conceptos que serán tratados especialmente en un futuro próximo. Al mismo tiempo, los niños se han preguntado qué es y de dónde viene todo el calor que hay en los volcanes:

- *Giorgia: Pero el calor, ¿de dónde viene?*
- *Maurizio: Del centro de la Tierra*
- *Luca: De la electricidad*
- *Giorgia: Pero ¿de dónde viene la electricidad?*
- *Andrea: Quizá el calor venga de esto (indica el enchufe)*
- *Giorgia: La electricidad, ¿de dónde toma el calor?*
- *Maurizio: Quizá el hierro con otro material forma la electricidad*



Fig. 7: Fotos y dibujos de los niños sobre la experiencia de fusión y solidificación de diferentes materiales (mantequilla, chocolate) ante diferentes condiciones de temperatura (sobre el hornillo, en la mano): “La mantequilla sobre el calentador se funde (o se derrite), el chocolate en la mano de funde, sobre el calentador se funde un poco y después se quema”.

Observando las piedras los alumnos dijeron: “las piedras en el bolsillo no se derriten como la mantequilla. Entonces hemos puesto las piedras sobre el hornillo pero no se derriten tampoco, entonces son elementos duros.”

Para comprender que diferentes materiales necesitan diferentes temperaturas para fundirse hemos mostrado como el azufre, que es un mineral, no se funde ni dentro del agua caliente, ni tampoco en la mano ni en el bolsillo pero puede fundirse en contacto directo con el fuego. Después de esta observación les fue posible comprender a los niños que las rocas también pueden fundirse pero necesitan temperaturas mucho más elevadas que las que podemos reproducir en el aula, temperaturas que existen dentro de la Tierra.

**2) Presión y gas.** Con el propósito de discutir la idea de los niños acerca del aire (y del agua y del fuego) como materiales que empujan y hacen subir la lava del volcán y para conducirlos hacia el descubrimiento del gas como material que “empuja”, se ha preparado una experiencia sencilla con agua con gas fría y bicarbonato de sodio. Los alumnos han comentado la experiencia de la botella de agua así: “Mónica tenía una botella de agua con gas y una cajita de bicarbonato de sodio, echó un poco de bicarbonato en la botella y el agua se puso blanca, blanca. Sacudió la botella y cuando la abrió salieron muchas burbujas que salpicaron un poco alrededor”.

Los niños han comprendido sin dificultad e intuitivamente el papel del gas en la subida del agua y por analogía con la lava del volcán (Fig. 8):



Fig. 8. Dibujo de un niño sobre la experiencia de la botella de agua con gas y bicarbonato de sodio (a) comparado con la erupción del volcán (b).

“Para mí la parte más importante ha sido cuando ha salido la espuma de la botella, porque puede dar una idea de como la lava sale del volcán”.

“Cuando el agua y el bicarbonato subían, me parecía un volcán”. De aquí hasta la comprensión del concepto de presión hay todavía un largo camino, pero de momento los niños comienzan a hacerse una idea básica del volcán.

### 4.3. Representación y sistematización de los conocimientos sobre el funcionamiento de los volcanes

Para sistematizar y representar (y verificar también) el nivel de conocimiento de los niños, se han propuesto actividades individuales y en grupo: mediante grandes esquemas de un volcán, uno con sistema de alimentación subterráneo, otro con diferentes edificios (volcán en escudo y estrato- volcán) y mecanismos de erupción (efusiva y explosiva), los dos construidos de manera colaborativa e interactiva, los alumnos tenían que discutir y explicar el criterio de elección y colocación de las palabras explicativas (Fig. 9 y 10).



Fig. 9: Construcción de un gran esquema de un volcán con su sistema de alimentación subterráneo. Los alumnos tenían que discutir y colocar algunas palabras explicativas sobre el dibujo.

Recopilamos aquí tres fragmentos de la discusión entre los alumnos:

- 1) Francesco: Yo quiero poner la palabra EN-FRIADA aquí porque la lava se enfría y se vuelve dura.

2) Jessica: la palabra **LÍQUIDO** la pongo aquí porque cuando el volcán se pone caliente la lava sale y es líquida...

• Niños: ¿Por qué la pones ahí, en el aire? (sobre el cono)...entonces la ponemos aquí, sobre la lava...líquido se refiere a lava.

3) Federico: la palabra **GAS** la pongo aquí, sobre el magma...

• Maestro: ¿Por qué?

• Federico: No se cómo explicártelo...

• Maestro: Porque ¿quiere decir que el magma está hecho de gas? ¿Alguno lo habría puesto en otro sitio?

• Niños: Nooo

• Luca: Pero el magma no es de gas...según mi opinión el gas no debería ir a ninguna parte....

• Maestro: ¿Os acordáis de cuando hicimos el experimento con la botella de agua y el bicarbonato?

• Imane: Que salía todo el gas

• Maestro: ¿Salía todo el gas o también otra cosa?

• Francesco: Salía agua...no exactamente agua...vapor...Había burbujas...lo agitabas y salían fuera las burbujitas...

• Federico: El gas quizá hace lo mismo que los volcanes...si alguien lo agita...la palabra gas la pondría aquí porque es aquí donde ocurre la erupción.

A través del dibujo colectivo y colaborativo de los carteles se ha hecho un trabajo laborioso y eficaz de síntesis, ayudando a los niños a conectar todas las experiencias hechas, a atribuirles un significado en relación al volcán, a veces proveyendo también explicaciones de forma más frontal, buscando responder a la pregunta en suspense de los niños sobre la formación del primer volcán y sobre el mecanismo de los volcanes.

Como conclusión preparamos un texto con imágenes que resumía nuevamente la experiencia global a través de las preguntas formuladas por los niños. Con esta modalidad (de forma más informativa y directiva, que hace síntesis de todo el conocimiento adquirido) los alumnos pudieron reconstruir mejor su propia experiencia cognitiva, conjugándola con la necesidad de recibir todavía informaciones dadas de forma directa y con la necesidad de los maestros de llegar al estudio de conceptos y términos científicos.

#### 4.4. Valoración de los aprendizajes

La verificación del desarrollo de los conocimientos de los niños se ha hecho primero durante la actividad poniendo atención a las palabras de los niños y a través de la estimulación para formular nuevas preguntas. Algunas de estas - por ejemplo: “¿Cuándo y cómo se ha formado el primer volcán?” - han sido el motor de nuevas actividades de

estudio. Tras haber comprendido que la lava, cuando se enfría, se convierte en roca, son los propios niños los que avanzan en la hipótesis: “se parte de un pequeño agujero, cuando sale la lava líquida sale como una fuente y se queda allí, se enfría, se endurece y se forma una montaña” (Alice)

El conocimiento y los aprendizajes han sido monitorizados también a través de dibujos y comentarios escritos sobre las cosas observadas y después con pruebas de verificación específicas.

Otras formas de verificación han sido más tradicionales, como tests de respuesta múltiple y preguntas abiertas.

La prueba con la pregunta cerrada se estructuró de modo que fuesen preguntas que requiriesen dar una definición (¿Qué es un volcán? ¿Qué es un cráter de un volcán?), preguntas que requiriesen dar explicaciones ante la pregunta “por qué” (¿por qué se dice que un volcán está activo? ¿por qué se dice que un volcán está apagado?) y finalmente una pregunta que requiriese explicar un proceso (explicar como ocurren las erupciones, es decir, el mecanismo de los volcanes).

La pregunta de verificación a la pregunta abierta ha sido: “Piensa en todo aquello que has estudiado sobre los volcanes y escribe lo que más te ha gustado de la experiencia que hemos hecho y todo lo que has aprendido”.

Al final de este recorrido hemos observado la **construcción de algunos conceptos** sobre los volcanes a un primer nivel.

Los logros de la verificación se agrupan en torno a dos aspectos: la experiencia práctica (de la cera, de la botella y de la fusión) y las lecciones interactivas (Fig. 11). Han sido relevantes los aprendizajes en cuanto a:

- forma de los volcanes: “hay estrato-volcanes y volcanes en escudo”;
- dislocaciones sobre el planeta: “hay volcanes también en el agua, he aprendido que los volcanes no solo están en Italia sino en toda Europa”;



Fig. 10: Uno de los carteles resultados de la actividad colaborativa e interactiva de síntesis de los conocimientos sobre el mecanismo de erupción del volcán.



Fig. 11: Lección interactiva: a través de las discusiones y de los dibujos individuales y colectivo se ha hecho un trabajo interesante y eficaz de síntesis, ayudando a los niños a entender mejor y conectar todos los conocimientos contruidos durante las experiencias hechas.

- aspectos léxicos: magma/lava; explosivo/efusivo; cráter/frente de la colada; cámara magmática; etc.;
- fenómenos: “*hemos descubierto finalmente de dónde venía la lava (magma)*”; “*he aprendido que las piedras pueden reconvertirse en lava*”.

En las verificaciones finales, casi todos han sabido hacer los dibujos de forma correcta demostrando conocer la diferencia en el edificio volcánico entre estrato-volcán y volcán escudo, pero pocos han conseguido responder con las definiciones que hemos compartido durante la actividad y muchos han usado ejemplos o analogías:

- 1) El volcán es: *una especie de...; es como...; tiene la forma de...; parece...; se parece a...*
- 2) El cráter es: *...es de dónde...; es dónde...; se encuentra sobre el borde del volcán...*

A la pregunta “¿Cuántas veces puede entrar en erupción un volcán?” han respondido de las maneras más diversas: hay quien se ha expresado con una cantidad fija (ej.: 10 veces / centenares de veces / “*muchas veces pero después de una erupción puede estar apagado durante muchos años*”), hay quien por el contrario ha dado explicaciones más cercanas a la causa de la erupción (ej.: “*el volcán puede entrar en erupción cuando el magma se calienta demasiado, un volcán no puede erupcionar cuando el magma no está ya en la cámara magmática*”).

A la pregunta de “¿Por qué se dice que un volcán es activo? ¿Por qué se dice que un volcán está apagado?” algunos niños han respondido usando la misma definición (ej.: “*un volcán es activo porque erupciona, un volcán está apagado porque no erupciona*”; “*es activo porque se ve la lava y se dice que es activo/está apagado porque no sale lava*”), otras respuestas han estado más ligadas al factor tiempo (“*se dice que un volcán es activo porque entra en erupción a menudo, no cada cien años, entonces seguramente está activo; se dice que el volcán está apagado porque no entra en erupción a menudo, cada cien años, entonces se dice que está apagado. Pero algunas tragedias ocurren porque se cree que se ha apagado y sin embargo erupciona*”).

en el momento más inesperado”. O también: “*se dice que un volcán está activo cuando se tienen pruebas de que el volcán haya erupcionado hace dos días, se dice que el volcán está apagado cuando no se le ve entrar en erupción en mucho tiempo pero se tiene que estar atento porque podría erupcionar cuando menos te lo esperas*”.

Sobre el mecanismo de las erupciones la mayoría de los alumnos ha comprendido que en el interior de los volcanes no hay fuego, aire o agua hirviendo, sino más bien roca que fluye (porque se funde) con gas, que sube porque es fluida y por ello puede ponerse en movimiento pasando por donde hay espacio hasta salir fuera y volverse lava.

Sin embargo, pocos niños han sabido reconstruir las causas que provocan el ascenso del magma y la erupción. Una de las mejores respuestas ha sido “*Si es un volcán en escudo, hace una colada de lava, si es un estrato-volcán hace una erupción explosiva. Pero los dos tienen el mismo mecanismo que es así: la lava, cuando es ligera, sube por el conducto volcánico, no hay nada, es lava que sube sola*”. Muchos han sabido describir alguna fase, las más evidentes de la subida del magma, pero sin indicar las causas. Frente a la pregunta “¿Por qué sube la lava?” de hecho, los alumnos no han encontrado respuesta en la experiencia de la cera (este experimento no les ha ayudado a construir la idea de gradiente de densidad) y la han buscado en otros hechos que controlan mejor porque tienen alguna referencia a lo cotidiano, como por ejemplo, en la experiencia que han hecho del agua con las burbujas de gas que sale de la botella: “*Si es líquida se puede mover (...) si encuentra un pequeño agujero entra en él, ese es el mecanismo (...) la lava sube porque hay gas...debajo*”. Entonces, para la mayoría de los estudiantes, es el gas el que sube y empuja el magma.

En algunos estudiantes permanece hasta el final la idea de que lo que empuja a la lava es algo que hierve: “*El hornillo es el calor, el volcán tiene debajo algo que hierve, que hace subir la lava, la lava sale*”.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis global del camino desarrollado nos permite hacer alguna consideración a nivel didáctico, de aprendizaje y conceptual.

Observar, describir e interpretar, la posibilidad de razonar libremente, a través de preguntas e hipótesis, de seleccionar y modificar las variables, de discutir y argumentar las propias ideas en un clima no de examen, ha permitido un aprendizaje consciente y significativo.

A causa del alto nivel de complejidad disciplinar y de la dificultad para percibir los fenómenos, la experiencia concreta, “el hacer”, resulta muy importante para el aprendizaje de los niños, estimulando también su atención y motivación.

Desde el punto de vista de los aprendizajes los resultados son varios pero consideramos que los

más significativos son las capacidades transversales que han podido desarrollar, del tipo:

**Léxicas:** los niños han enriquecido el lenguaje construyendo el significado científico de muchas palabras de uso común.

**Lógico-deductivas:** la mayoría del trabajo ha sido hecho a través de hipótesis, reflexiones y deducciones de los niños frente a fenómenos observados. De: pero si...entonces.... (causa-efecto), a: parece...es como si...(transferencia por analogía). Un niño escribió: "Para mí el volcán es como un oso, cuando está en letargo duerme. Además cuando no está en letargo está despierto; el volcán cuando está en letargo no explota, mientras que cuando no está en letargo sí." Una niña dijo: "si la lava es roca suelta y cuando sale del volcán se solidifica y se vuelve nuevamente roca, pero después si el magma es roca suelta, quiere decir que la roca va a formar el magma."

Estos aprendizajes, que son importantes en el plano del razonamiento, en el plano del léxico específico, en el plano de la capacidad de hacerse preguntas y resolver problemas, son destacables en comportamientos transferidos en otras disciplinas, ej. geografía, matemáticas, historia y las otras ciencias.

Además, los niños afrontan los argumentos nuevos con curiosidad, motivación, al ir en búsqueda de información ulterior en textos específicos o en sus experiencias.

Tomando en consideración las grandes metas didácticas destacadas al principio, en el apartado 3, creémos que, a través de la experiencia de la cera, los alumnos han construido por cierto la idea de movimiento y transformación.

A través del estudio de las rocas al final y modificando también las variables (en todas las situaciones experimentales), obtuvieron resultados diferentes, y esto permitió confrontarse con la idea de complejidad y variedad de la realidad.

A nivel conceptual quedan para los niños **problemas abiertos** y **puntos críticos**, particularmente para comprender mejor algunos aspectos disciplinares como las causas de los movimientos y la idea de densidad y de presión. La dificultad viene constituida sobre todo por los numerosos fenómenos y conceptos físicos implicados (como fusión y solidificación; transmisión de calor y formación de un gradiente de temperatura, densidad y presión...). En consecuencia, para estudiar la Tierra se deben tener en cuenta y planificar actividades relacionadas con situaciones físicas simples y construir, a partir de estos conocimientos, un sentido coherente con los hechos, compartido y más cercano a la interpretación científica.

La propuesta de un recorrido como éste tiene que considerar que los tiempos de la acción y reflexión son muy largos pero resultan imprescindibles para dar a los niños la posibilidad de apropiarse de la experiencia del aprendizaje. Por otra parte el conocimiento construido así constituye una capacidad que puede ser fácilmente utilizada en otros ámbitos.

En conclusión, podemos decir que el estudio de la Tierra es posible ya a partir de la escuela primaria y a través de una estrecha cooperación multidisciplinar y de competencia entre la investigación didáctica y la enseñanza en la escuela.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la escuela primaria de Via Fera-boli y el Departamento de Ciencias de la Formación en Milano que han prestado su colaboración y han permitido la realización de la actividad de investigación-acción; los alumnos de la clase 3C que han aceptado con entusiasmo la propuesta, demostrando una vez más mucha voluntad de aprender y de conocer. Gracias también por las sugerencias críticas de la prof. E. Giordano, importante guía para nuestras experiencias didácticas. Agradecemos a Fabio Fussi y Maria Ortuño que han corregido nuestra traducción en español del texto.

## BIBLIOGRAFIA

Allain, J.C. (1995). Sismes, eruptions volcaniques et interieur de la Terre: conceptions d'eleves de huit a dix ans. In Representations et obstacles en geologie. *ASTER n. 20, Institut National de Recherche Pedagogique. Paris.*

Arcà, M. & Guidoni, P. (1987). *Guardare per sistemi, guardare per variabili*. Strumenti, guida per la cultura scientifica di base. Emme edizioni. Torino.

Arcà, M., Guidoni, P. & Mazzoli, P. (1990). Enseñar ciencia: cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base. Barcelona: Paidós: Rosa Sensat (*Paidós educador*; 97).

Bezzi, A., Massa, B. & Pedemonte, G.M. (1998). Le scienze della Terra nella scuola superiore, parte prima e parte seconda. *Didattica delle Scienze*, n. 101 n. 104.

Brown, L., Kelso, P., Rexroad, C. (2001). Introductory geology for elementary education majors utilizing a constructivist approach. *Journal of Geoscience Education*. V. 49, 5, 450-453.

Clement, J., Brown, O. & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*. 11 (5), 554-565.

Giordano, E., Onida, M., Pantano, O. & Rossi, S. (in press). Earth and the Universe in the italian project F21. Presentado al Congreso de Didáctica de la Física, Costa Rica, 2006.

Gohau G., (1995). Traquer les obstacles epistemologiques a traves les lapsus d'eleves et d'ecrivains. *ASTER n. 20, Representations et obstacles en geologie. INRP, Paris.*

Guidoni, P. (2004). Rethinking physics for teaching: some research problems. In Proceedings of the International school of Physics Enrico Fermi, Course CLVI, *Research on Physics Education*, IOS Press, 223-278.

Lillo Bevià, J. (1994). An analysis of the annotated drawings of the internal structure of the Earth made by student aged 10-15 from primary and secondary school in Spain. *Teaching Earth Sciences*. 19., 83-87.

Lillo Bevià, J. (1996). Ideas de los alumnos y obstáculos epistemológico en la construcción de los conceptos fósil y fosilización. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*.3.3., 149-153.

- Manduca, C. A. (2007). Improving Instruction in Mineralogy, Petrology and geochemistry – Lesson from Research on learning. *Elements*, V.3, 95-100.
- Martí, J. & Folch, A. (1999). El porqué de los volcanes. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.3., 194-199.
- Massa, B. & Pedemonte, G.M. (1998). Una recherche sur les obstacles cognitifs en geologie : quelles implications sur la formation des enseignants ? In A. Giordan, Martinand et Raichvarg, *Actes Jies XX*.
- Monchamp, A. & Sauvageot-Skibine, M. (1995). Du fixisme a la tectonique des plaques. Et pourtant, elles bougent. *ASTER n. 20, Representations et obstacles en geologie*. INRP, Paris.
- Morin, E. (1999). *Une tête bien faite*, Le Seuil.
- Orange, C. (1995). Volcanisme et fonctionnement interne de la Terre. Reperes didactiques pour un enseignement de l'école elementaire au lycée. In *Representations et obstacles en geologie. ASTER n. 20, Institut National de Recherche Pedagogique, Paris*.
- Pedemonte, G.M., (1992). La Didattica delle Scienze della Terra: alcuni problemi nodali per l'insegnamento e l'apprendimento - *Annali della Pubblica Istruzione*, XXXVIII, 5-6, 579-592.
- Pedrinaci, E., (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la geología. En Jimenez Aleixandre, M. P. (coord.). *Ensenar ciencias*. Graò. Barcelona.
- Pedrinaci, E., 2006. Si quieres avanzar hazte con una teoria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2006., 14.1, 11-20.
- Perkins, D. (2007). What should our students learn? *Elements*, v. 3, 101-106
- Pujadas, A., Brusi, D. & Pedrinaci, E. (1999). ¿Los volcanes han cambiado! Nuevos enfoques de terminología volcanica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.3., 200-209.
- Sauvageot-Skibine, M. (1995). Enseigner les sciences de la Terre en tenant compte des représentations. *ASTER n. 21, enseignement de la geologie*. INRP, Paris.
- Tonon, M. & Ferrero, E. (2000). Riflessioni epistemologiche sul concetto di fossile e fossilizzazione: rappresentazioni mentali degli insegnanti della scuola primaria in formazione e in servizio. *Giornale di Geologia*, ser. 3°, 62, 157-163.
- Willie, P. (1971). *The dynamic Earth: a textbook in Geosciences*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Wirth, K. R. (2007). Teaching for deeper understanding and lifelong learning. *Elements*, v. 3, 101-106. ■

*Fecha de recepción del original: 13 marzo 2007.*  
*Fecha de aceptación definitiva: 11 julio 2007.*