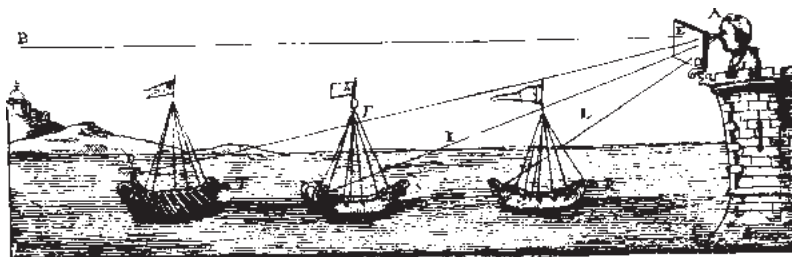


# INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



## ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE ASTRONOMÍA DIURNA EN PRIMARIA MEDIANTE «SECUENCIAS PROBLEMATIZADAS» BASADAS EN «MAPAS EVOLUTIVOS»

**NAVARRO PASTOR, MANUEL**

Universitat d'Alacant  
manuel.navarro@ua.es

---

**Resumen.** Existe la imperiosa necesidad de mejorar la enseñanza de la ciencia en todas las etapas educativas, siendo el desarrollo de material curricular probado experimentalmente una de las estrategias ineludibles. Este escrito pretende mostrar, mediante el caso concreto de la astronomía diurna, cómo la metodología de «secuencias problematizadas» de carácter descriptivo y basadas en los «mapas evolutivos» del tema constituye una herramienta eficaz para acercar los niños a su entorno, desarrollar formas de pensar científicas, mejorar su actitud hacia la ciencia y sentar las estructuras cognitivas de carácter descriptivo necesarias para el aprendizaje de teorías explicativas en etapas posteriores.

**Palabras clave.** enseñanza por indagación, educación primaria, mapa evolutivo, secuencia problematizada, astronomía diurna, currículo, diseño curricular.

---

### **Teaching-learning of daytime astronomy in primary education through «Problematized sequences» based on «Evolutionary maps»**

**Summary.** There is an urgent need to improve Science teaching at all educational levels, and the development of curricular material that has been tested experimentally is undoubtedly one of the necessary strategies. This paper intends to show, through the specific case of daytime astronomy, how descriptive «problematized sequences» based on «evolutionary maps» are an effective tool for bringing children closer to their environment, developing scientific ways of thinking, improving their attitude toward science and establish the descriptive cognitive structures needed for learning explanatory theories in later stages.

**Keywords.** Inquiry-based teaching, primary education, evolutionary map, problematized sequence, daylight astronomy, curriculum, curriculum development.

---

## INTRODUCCIÓN

Son muchos los autores que hablan de un grave fracaso de la enseñanza de la ciencia, que abarca tanto a lo conceptual como al desarrollo de las capacidades cognitivas y a la actitud hacia la ciencia (cf.<sup>1</sup> Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999; Gil Pérez, Carrascosa Alís y Martínez Terrades, 2000; Gallagher, 2000; Turpin y Cage, 2004; Smith et al., 2004; Jacobs y Simpkins, 2006; Ribeiro y Neto, 2008; García Camarero, 2008). Aunque las razones de ese fracaso son múltiples, no hay duda de que la escasa calidad didáctica –e incluso científica– de los libros de texto juega un papel importante (cf. Stern y Roseman, 2004; Mullholand y Wallace, 2005; Schwartz et al., 2008).

Concretamente en el área de astronomía Vosniadou (1991) analiza los libros de texto de primaria de cuatro importantes editoriales americanas e identifica una escasa inteligibilidad de textos y dibujos así como una falta de consideración de las ideas alternativas existentes. Nuestra propia revisión de trece libros de texto de primaria españoles (Navarro Pastor, 2009) muestra, además de una metodología exclusivamente expositiva, una escasa atención al contenido observacional (por ejemplo, cambios en la duración del día y en la culminación del Sol) y una aún menor vinculación entre éstos y el modelo Sol-Tierra expuesto, así como numerosos errores científicos y una escasa inteligibilidad de los contenidos. No es de extrañar por tanto que numerosos estudios hayan encontrado en todas las edades una exigua comprensión del modelo Sol-Tierra y, en particular, una incapacidad general para relacionar el modelo con los aspectos observacionales (cf. Bach y Franch, 2004, Baxter, 1989, 1998; Schoon, 1992; Afonso López et al., 1995; De Manuel, 1995; Trumper, 2001; Martínez Sebastia, 2003; Vosniadou, Skopeliti e Ikospentaki, 2004; Gil Quílez y Martínez Peña, 2005; Sadler, 1998; Sharp y Kuerbis, 2006). Más aún, según un estudio realizado con 350 niños de diferentes escuelas de la provincia de Alicante (Navarro Pastor, 2009), tan sólo un tercio de los alumnos del último ciclo de primaria saben que la trayectoria diaria del Sol tiene forma de arco con extremos en el horizonte y poco más de la mitad que el día comienza y acaba con el Sol en el horizonte. Más sorprendentemente aún, una prueba similar con alumnos de 1.º de magisterio (ibíd.) indica que sólo un tercio conoce (explícitamente) la forma en arco hacia la derecha de la trayectoria diaria del Sol (la mayoría la dibujan hacia la izquierda) y un 15% dibujan trayectorias ajenas totalmente a la forma en arco.

La problemática denunciada apunta a la necesidad de poner a disposición de los docentes material curricular de calidad, coherente con el conocimiento didáctico y el científico, contrastado y mejorado mediante la aplicación reiterada en el aula. El diseño –y contrastación experimental– de secuencias de enseñanza constituye una importante línea de trabajo caracterizada por poseer un aspecto dual de investigación y desarrollo, al estudiar tanto los procesos de aprendizaje como el diseño de metodologías que han de demostrar su eficacia y adecuación a condiciones reales (Méheut y Psillos, 2004). Por otro lado, la importancia de la astronomía como tema de

alfabetización científica está ampliamente aceptada por los especialistas (cf. Finegold y Pundak, 1991; Sharp et al., 1999; National Research Council, 2001) así como por las autoridades educativas al incluirla de forma generalizada en los currículos de los países occidentales, incluidos los de primaria (cf. Sharp et al., 1999; Sharp y Kuerbis, 2006).

Si bien, en contraste con las reflexiones teóricas, las propuestas de diseños curriculares son escasas en el acervo de la disciplina (Linjse y Klaasen, 2004), esto es particularmente acusado en el ámbito de la enseñanza primaria. Por ejemplo, en el número monográfico sobre secuencias de enseñanza de la revista *International Journal of Science Education* (2004, vol 26, n.º 5) todas las secuencias presentadas se dirigen a la enseñanza secundaria o universitaria. Asimismo, en un estudio sobre los contenidos de los artículos publicados desde julio de 2001 a junio de 2002 en las revistas internacionales de investigación en Didáctica de las Ciencias de mayor impacto (Navarro Pastor, 2002) menos del 10% de los artículos publicados se refiere a Primaria y ninguno de ellos realiza propuestas concretas de material curricular. Sharp et al. (1999) corroboran que existe una ausencia generalizada de modelos pedagógicos para Primaria.

De acuerdo con lo anterior, el propósito de este proyecto consiste en elaborar y validar experimentalmente material curricular para la enseñanza de la astronomía diurna en Primaria, realizable en condiciones normales de aula. Su realización abarca la aplicación de una nueva metodología para la elección de objetivos (los *mapas evolutivos*) y una adaptación a Primaria de la metodología de *secuencias problematizadas*.

## QUÉ CIENCIA ENSEÑAR EN PRIMARIA. EL CASO DE LA ASTRONOMÍA

Numerosos autores describen el conocimiento como estructuras jerárquicas que ascienden desde lo concreto hacia lo abstracto (por ej. Giere, 1990, 1994; Snyder, 2000; Schwartz y Fischer, 2004). Esto justifica la noción de currículo en espiral de Bruner, que ha sido reformulada recientemente como «progresiones de aprendizaje» (cf. Smith et al., 2006; National Research Council, 2007) las cuales han recibido considerable atención por parte de los especialistas en años recientes. La propuesta ejemplificante de los autores citados acerca de la materia y la teoría atómica limita los contenidos de primaria a lo observacional y descriptivo, y pospone las teorías explicativas a secundaria, lo cual es coincidente con las posturas pospiagetianas (cf. Sutherland, 1992) y de otros autores (cf. Prieto et al., 1992; Watson et al., 1997; Navarro Pastor, 2009b).

Si bien la enseñanza a partir de la experiencia empírica –tanto investigativa como reflexiva o expositiva (cf. Navarro Pastor, 2009b)– es importante a todas las edades, en primaria es esencial (Harlen y Qualter, 2009), ya que

todo conocimiento abstracto que no se *cimenta* en la realidad perceptiva conduce a un conocimiento *flotante* que no sirve al sujeto para interpretar su entorno y guiar su acción (Navarro Pastor, 2010; vid. apartado siguiente). Un caso característico es el de los alumnos de magisterio que, al pedírseles que señalen la dirección de giro de la Tierra, en lugar de apuntar al Este, dibujan un círculo con el dedo índice en posición vertical; es decir, al pensar en la Tierra no lo hacen en la inmensa esfera de roca bajo sus pies, sino en una pelota imaginaria situada varios decímetros por delante de sus ojos.

Una progresión de aprendizaje relativa a la astronomía diurna que abarque la enseñanza obligatoria debería culminar en la capacidad del alumno para justificar el modelo copernicano a partir de los datos observacionales [de los cuales aquél surge por abducción], así como para aplicarlo a casos concretos igualmente observacionales (Martínez Sebastián, 2003). Sin embargo, en las escuelas españolas se aborda el modelo copernicano sin vincularlo al conocimiento observacional, que permanece ampliamente ignorado por los alumnos incluso –como hemos visto– respecto al ciclo diario. Ceñir la enseñanza de la astronomía diurna en primaria al conocimiento observacional y descriptivo se justifica tanto como primer paso de una progresión de enseñanza adecuada a las capacidades cognitivas de los niños, como por su valor en sí mismo para aproximar al sujeto a su entorno natural. De lo que se trata es de que si un niño constata que en casa de un amigo entra la luz solar a medio día lo asocie a que esa estancia está orientada al Sur; que si planea jugar un partido de fútbol al salir del colegio unas semanas después anticipe que se va a hacer de noche un poco antes o un poco después; o que si toma el sol en mayo se fije en su elevada posición en el cielo, recordando que seguirá ascendiendo hasta el 21 de junio y deduciendo la necesidad de tomar medidas protectoras.

Por otro lado, priorizar lo observacional y descriptivo permite que los niños realicen investigaciones científicas, cosa que en el caso de las teorías explicativas resulta altamente problemático (Navarro Pastor, 2009b). No hay que olvidar que el aprendizaje del modelo Sol-Tierra y las causas de las estaciones presenta una gran dificultad intrínseca, incluso para los estudiantes de bachillerato, asociada en parte a las destrezas geométricas proyectivas requeridas –la capacidad de imaginar y operar el sistema en tres dimensiones y de vincular la perspectiva local con la espacial– (cf. Sadler, 1998; Gil Quílez y Martínez Peña, 2005; Lanciano y Camino, 2008).

### ELECCIÓN DE METAS DE APRENDIZAJE Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN: LAS PROGRESIONES DE APRENDIZAJE EN FORMA DE MAPAS EVOLUTIVOS

Los *mapas evolutivos* (Navarro Pastor, 2009, 2010) son un tipo de progresión de aprendizaje que permite identificar con precisión los distintos itinerarios que siguen los aprendices en el desarrollo de un subsistema conceptual,<sup>2</sup> así como las diferencias entre el modelo mental de un su-

jeto en un momento dado y el conocimiento científico (es decir, proporciona la estructura del cambio conceptual requerido en forma de diferenciaciones no realizadas e integraciones erróneas o inexistentes). Además posibilita el diseño de progresiones de enseñanza<sup>3</sup> y métodos de evaluación basados en niveles de desarrollo. Su realización asume que el conocimiento conceptual evoluciona a partir de la percepción –de acuerdo con muchos pensadores ilustres tales como Schopenhauer, Brentano, Husserl, Merleau-Ponty, Piaget, Bunge, Varela, Llinás, Edelman y Damasio<sup>4</sup>– y que en este «ascenso», que es explicado de forma algo diferente por Piaget y por Karmiloff-Smith (1994/1992), algunas de sus propiedades se diferencian e integran formando nuevas estructuras que pueden llegar a ser conscientes (explicitación). Los mapas evolutivos consisten esencialmente en la identificación de la sucesión de diferenciaciones que realiza el sujeto de un aspecto de su realidad perceptiva –p.ej. constatar que la duración del día (luz solar) cambia–, así como del conjunto de posibles integraciones a partir de aquéllas, que pueden ser científicas –por ej. «en primavera y verano el día dura más que en otoño e invierno»– o erróneas –por ej. «en verano los días duran más que en primavera»–. Es importante constatar que no se pueden enseñar las integraciones sin que el sujeto haya realizado las correspondientes diferenciaciones. Por ejemplo, no se puede enseñar cómo cambia la culminación a lo largo del año sin que el niño haya diferenciado distintas «alturas» en el cielo (dimensionalización), lo que no es trivial y –al contrario que la diferenciación en la duración del día– no se puede dar por sabido a ninguna edad propia de primaria (cf. Navarro Pastor, 2010).

Esta metodología, que ha sido validada experimentalmente (Navarro Pastor, 2009, 2010), ha permitido identificar **cuatro niveles de diferenciación (con sus correspondientes integraciones)** respecto a la comprensión de los ciclos anuales del movimiento del Sol en el cielo (relativos a la duración del día, culminación del Sol y acimut del orto y ocaso), que resumidamente son:

Nivel 1: no hay diferenciación (todos los días son iguales).

Nivel 2: diferenciación discreta: dos, tres o cuatro valores que suelen integrarse oponiendo el verano y el invierno y asignando valores intermedios a la primavera y otoño.

Nivel 3: diferenciación continua de los parámetros, lo que permite identificar dos días extremos (los solsticios) y una variación continua entre ambos con centro en los equinoccios (modelo científico); puede considerarse una integración adicional que considera la simetría existente alrededor de los solsticios (que denominamos nivel 3b).

Nivel 4: diferenciación de la velocidad con la que cambian los días e integración con distintos grados de precisión y completitud (por ejemplo, los días cambian despacio cerca de los solsticios y deprisa cerca de los equinoccios).

Un diseño probado de enseñanza investigativa del modelo Sol-Tierra, que está siendo utilizado tanto en secunda-

ria como en magisterio, es el desarrollado por Martínez Sebastía y Martínez Torregrosa (cf. Martínez Sebastía, y Martínez Torregrosa, 2001; Martínez Sebastía 2003)<sup>5</sup>. La ideación del modelo Sol-Tierra se basa en los datos del nivel 3 del mapa (ciclo anual de los parámetros observacionales) por lo que –a priori– éste parece un objetivo adecuado para la primera etapa (correspondiente a primaria) de una progresión de enseñanza. Es importante señalar que una representación correcta de la culminación y del acimut del orto y el ocaso requieren una dimensionalización y parametrización angular del cielo, lo cual es difícil y pocos adultos consiguen (Lanciano y Camino, 2008). Esto es particularmente cierto respecto al acimut ya que, al contrario que la culminación, no existe un valor cero natural de referencia (el horizonte en el caso de la elevación).

Conviene recordar que tan sólo un tercio de los alumnos del último ciclo de primaria saben que la trayectoria diaria del Sol tiene forma de arco con extremos en el horizonte y poco más de la mitad que el día comienza y acaba con el Sol en el horizonte. En cuanto a los ciclos anuales, según un estudio cualitativo basado en 127 entrevistas conformes con la metodología de los mapas evolutivos (Navarro Pastor, 2009, 2010), una gran mayoría de los alumnos de primaria no ha diferenciado distintas culminaciones a lo largo del año y ninguno (de la amplia muestra) distintas posiciones del orto y el ocaso. Cuando se ha hecho una diferenciación de la duración del día (lo que es frecuente) o de la culminación del Sol, ambas suelen ser de carácter discreto (generalmente tres o cuatro niveles) y su integración responde a la conocida oposición verano-invierno (que presumiblemente tiene en su origen la oposición en el valor de las temperaturas). Es decir, piensan que la duración de los días o la culminación del Sol es esencialmente uniforme en cada estación y que ambos parámetros toman valores extremos en verano e invierno e intermedios en primavera y otoño. Curiosamente son más los alumnos que asignan valores distintos a la primavera y al otoño que los que los equiparan (siendo esto último lo que enseñan la mayoría de los libros de texto).

Las consideraciones anteriores y la experiencia acumulada en diversas pruebas piloto a lo largo de tres años han aconsejado escoger el tercer ciclo para la aplicación de las secuencias y establecer como **metas de aprendizaje** el desarrollo investigativo de un modelo de los cambios anuales con las siguientes características:

- a) corresponder cuantitativamente al nivel 3 del mapa evolutivo respecto a la duración del día y la culminación, es decir, conocer el ciclo anual con valores extremos en los solsticios e intermedios en los equinoccios;
- b) corresponder cualitativamente al nivel 3 respecto al acimut del orto y el ocaso (conocimiento del recorrido extremo en los solsticios e intermedio en los equinoccios pero sin medidas cuantitativas);
- c) corresponder cuantitativamente al nivel 3b (conocer y saber utilizar las simetrías respecto a los solsticios) como ampliación.

Aunque el estudio meramente cualitativo de la variación del acimut del orto y ocaso obliga a realizar más adelante su parametrización (si se quiere incluir estos datos observacionales en la construcción del modelo Sol-Tierra), haber realizado previamente la parametrización de la elevación y la diferenciación continua del acimut facilitan considerablemente aquel desarrollo. Conviene también tener en cuenta que la elección de objetivos ha sido influida por nuestra voluntad de procurar diseños que sean compatibles –en duración, recursos y formación docente necesaria– con la realidad de las aulas. Estudios recientes muestran la facilidad con la que intentos innovadores de enseñanza por investigación fracasan en situaciones reales de enseñanza (cf. Rogan, 2007). No obstante, consideramos que el objetivo es ambicioso dado que su consecución supone una transformación cognitiva importante en el alumno, que implica nuevas diferenciaciones y una re-estructuración completa de las integraciones. Este logro les situaría, en esta área de conocimiento, en un nivel superior al de la mayoría de adultos –según las pruebas realizadas con alumnos de primer curso de magisterio (cf. Navarro Pastor, 2009).

Los mapas evolutivos permiten asimismo el diseño de métodos de evaluación coherentes y por niveles de desarrollo. Es decir, en este proyecto la evaluación permite identificar el modelo mental en el que se encuentran los alumnos antes y después de la aplicación de las secuencias. Conviene recordar que el uso de modelos cognitivos para el desarrollo de métodos de evaluación es una de las recomendaciones del National Research Council (2001). Sin embargo, aunque ya se han realizado algunos intentos en esta dirección los niveles escogidos suelen ser bastante arbitrarios y desestructurados (cf. Briggs, Alonzo, Schwab y Wilson, 2006, sobre el aprendizaje del modelo Sol-Tierra).

## CARACTERÍSTICAS DE LAS SECUENCIAS DE ENSEÑANZA

La metodología didáctica escogida para los diseños es la de «**secuencias problematizadas**», desarrollada por Martínez Torregrosa y colaboradores (por ej. 2008). Consiste, de manera sucinta, en plantear el aprendizaje de un tema científico a través de una sucesión de actividades investigativas bien definidas en las que las hipótesis se someten a contrastación experimental, que son englobadas por un título en forma interrogativa que debe ser motivante para los alumnos y dar sentido a todo el proceso. Según el meta-lenguaje didáctico propuesto por Navarro Pastor (2009b), se trata de una enseñanza investigativa empírica guiada<sup>6</sup>. Se ha escogido para este proyecto una metodología de enseñanza por investigación empírica por entender que ésta es la que pone en juego un mayor número de capacidades cognitivas científicas y la que permite una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia. Esto es coherente con el actual énfasis en la enseñanza por indagación por parte de los especialistas (cf. Harlen y Qualter, 2009; National Research Council, 2007; Fibonacci Consortium, 2010).

En este proyecto hemos adaptado la metodología citada a contenidos descriptivos y a las características cognitivas de los alumnos de primaria, así como a las limitaciones de las situaciones reales en las aulas. Meheut y Psillos (2004) insisten en la necesidad de que las propuestas de secuencias de enseñanza expliciten las restricciones educativas tenidas en cuenta, para así facilitar la utilización de las mismas más allá de la innovación a pequeña escala. De acuerdo con lo anterior, en este proyecto se han diseñado las siguientes **especificaciones**:

- Las secuencias deben poder ser aplicadas con éxito por profesores en ejercicio y no sólo por los autores del proyecto.
- La aplicación de las secuencias debe exigir una formación moderada, tanto en lo científico como en lo didáctico, de los profesores participantes (10-12 horas).
- El diseño debe ser compacto y eficiente, de forma que permita alcanzar las metas de aprendizaje en un número moderado de horas, asumibles por los centros docentes (8-10 horas).
- Las secuencias deben poder ser aplicadas con éxito en escuelas «promedio» y en entornos socioeconómicos de nivel medio-bajo y con un número elevado de inmigrantes.
- La aplicación de las secuencias debe exigir un material experimental de coste mínimo.

Para hacer más fácil la aplicación de las secuencias hemos diseñado el **material para el profesor** con el mismo formato que el material del alumno, pero integrando los comentarios dirigidos a aquél en los huecos donde los alumnos deben escribir las respuestas (que son espacios duales: para la respuesta individual y para la colectiva y definitiva). Esto facilita la dirección del proceso de enseñanza al no ser necesario saltar continuamente entre dos impresos o entre lugares distintos de uno mismo –lo que por experiencia propia podemos afirmar que es altamente problemático.

El recorrido necesario para alcanzar el objetivo global ha sido estructurado en **tres secuencias**:

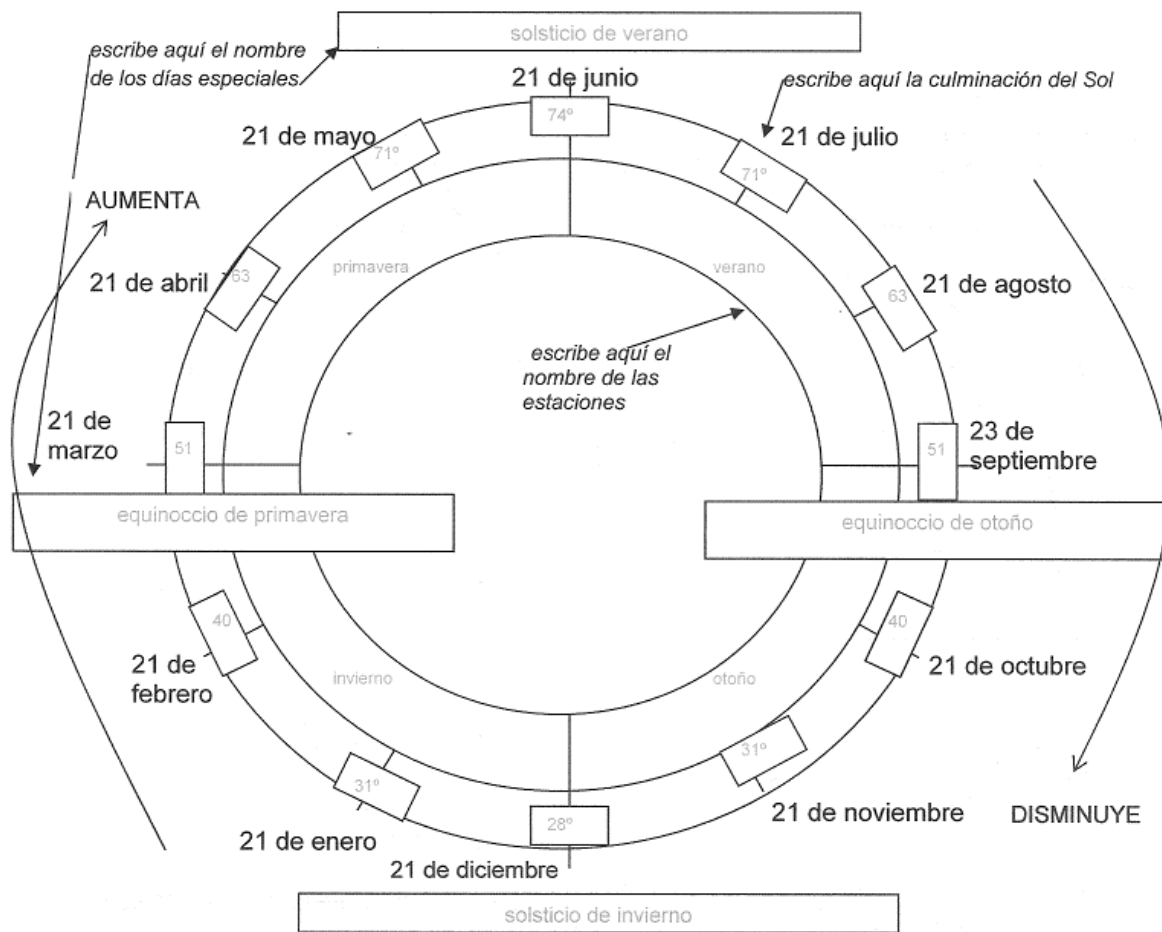
| Objetivo global de la secuencia  | Preguntas estructurantes  |
|--|---|
| Descubrir y apropiarse de la forma del movimiento diario del Sol y de la simetría (aproximada) respecto a la culminación y la hora a la que ésta tiene lugar.  | ¿Qué dura más, la mañana o la tarde?  |
| Descubrir y apropiarse de las regularidades anuales en la duración del día en la localidad y de su relación con las estaciones   | ¿Duran todos los días igual? ¿En qué épocas del año duran más los días? ¿Y menos?   |
| Descubrir y apropiarse de las regularidades anuales en la culminación del Sol en la localidad y de su relación con las estaciones, así como de la variación (y periodicidad) de la dirección del orto y del ocaso. | ¿Está el Sol alguna vez sobre nuestras cabezas? ¿En qué épocas del año está más alto? ¿Y menos?<br>¿Sale y se pone el Sol siempre por el mismo sitio? |

**En todos los casos los alumnos avanzan hacia la resolución de la pregunta estructurante realizando investigaciones parciales que son diseñadas por ellos mismos (con la ayuda del profesor).** Por ejemplo, en la secuencia 3 los niños averiguan el valor de la culminación del Sol a partir de la medición de las sombras de un gnomon (vástago vertical), la representación perpendicular del gnomon y de la sombra mínima en un papel, y la utilización de un semicírculo graduado para medir el ángulo opuesto al gnomon. Las medidas realizadas por ellos mismos son completadas con datos de los periódicos o Internet. Finalmente se les pide que representen los datos de forma que puedan observar las regularidades, que extraigan conclusiones a partir de ellos y que apliquen éstas a la resolución de ejercicios. Esta práctica investigativa propicia el desarrollo de formas de pensar científicas: concepción de diseños experimentales (teóricos y prácticos), toma y representación de medidas, construcción de modelos y aplicación de los modelos a la resolución de problemas. Conviene señalar que el concepto de medida es difícil y muchos profesores tienden a sobrestimar su comprensión por parte de los alumnos (National Research Council, 2007). Especialmente complejo es el concepto de error en la medida, lo cual es tenido en cuenta en los diseños: por ejemplo tras realizar medidas en grupos de dos proponemos hallar la media de todas las medidas para reducir el error; después se reflexiona sobre esto.

En lugar de la representación cartesiana de los datos se ha escogido una representación cíclica, denominada «la rueda de las estaciones» (página siguiente), que resulta más inteligible y operativa a estas edades.

**Todo el trabajo en el aula está enmarcado en el meta-discurso de aprender a ser científicos.** Esto no sólo resulta motivante para los alumnos sino que les ayuda a entender qué es la ciencia y a desarrollar actitudes propias de la ciencia (por ejemplo, hacer las cosas cuidadosamente) y actitudes afectivas hacia la ciencia. Esta estrategia es coherente con la repetida (aunque no consensuada) metáfora piagetiana del niño como aprendiz de científico (cf. Kuhn, 1992). De acuerdo con lo anterior, cada unidad se presenta a los alumnos como una investigación científica. La asunción del papel del científico por parte de los alumnos ayuda a establecer un contrato didáctico con estos (terminología de Brousseau, 1990) y a realizar una devolución de responsabilidad en el aprendizaje a los alumnos (cf. Brousseau, 1998; citado por Buty, Tiberghien y Le Maréchal, 2004). Comentarios del tipo: «¿cómo haría eso un científico?» ayudan a modular la conducta de los alumnos según patrones científicos. Además, asumir el reto de aprender a ser científicos facilita el desarrollo metacognitivo, ya que enmarca todo el proceso en la idea de que vamos a cambiar «nuestras» ideas y «nuestra» forma de pensar. Esto se concreta con actividades del tipo «¿Cómo han cambiado tus ideas?». Es bien sabido que en el desarrollo de la mente científica la metacognición juega un papel muy importante (National Research Council, 2000, 2007; Zohar, 2006), como por ejemplo la habilidad para constatar que las convicciones que uno tiene están en conflicto con las observaciones (National Research Council, 2007, p. 35).

Figura 1  
Rueda de las estaciones.



Otras características de las secuencias son:

– **Atención a la vivencialidad:** Uno de los retos permanentes en la enseñanza de la ciencia es conseguir que el alumno relacione los contenidos académicos con sus experiencias cotidianas, en lugar de almacenarlos en un subespacio de la memoria que sólo se vincula con la situación académica. Hasta un tema tan intrínsecamente vivencial como el cuerpo humano puede convertirse en algo abstracto y alejado de la propia realidad si no se ayuda deliberadamente a establecer vínculos con ésta. Como afirma Rivard (2004), «es preciso ofrecer a los estudiantes de ciencias muchas oportunidades para establecer conexiones significativas entre lo que aprenden en clase y las situaciones que encuentran en su vida habitual». Con este propósito hemos diseñado actividades en las que el alumno tiene que aplicar los nuevos conocimientos a circunstancias de su propia vida. Por ejemplo: *Ya hemos averiguado la orientación de la ventana de nuestra habitación con la ayuda de una brújula. ¿Podremos ver la culminación del Sol desde ella? Si se ve, ¿a qué lado estará? Compruébalo.*

– **Oportunidades para desarrollar argumentos de carácter científico, oralmente y por escrito:** La importancia de que los aprendices de ciencia desarrollen un lenguaje científico, tanto oralmente como por escrito, así como su capacidad para desarrollar argumentos basados en la evidencia, es ampliamente reconocida por los especialistas (cf. Jiménez-Aleixandre, 1998; Sutton, 2003; Rivard, 2004; Wallace, 2004; Avraamidou y Zembal-Saul, 2005; National Academy of Science, 2007). En distintas actividades los alumnos deben articular argumentos científicos tanto oralmente como por escrito, por ejemplo para explicar por qué una determinada afirmación es errónea (se ha demostrado que pedir a los alumnos que expliquen tanto la incorrección como la corrección de distintas afirmaciones es más eficaz que sólo explicar por qué ciertas afirmaciones son correctas –Siegler y Chen, 2008).

– **Reflexión sobre conceptos metacientíficos:** El conocimiento científico se estructura apoyándose en una serie de metaconceptos tales como definición, hipótesis,

deducción etc. Sin la apropiación de estos conceptos, de forma más o menos explícita, no es posible pensar científicamente. La recomendación número 3 de Taking Science to School (National Research Council, 2007) propone que la reflexión sobre la metodología científica sea incorporada a las clases de ciencias durante las actividades de construcción del conocimiento científico, en lugar de como temas independientes. Por ejemplo, en la secuencia 1 reflexionamos sobre el concepto de definición y cómo las definiciones científicas son más precisas que las del lenguaje popular.

– **Orientación y recapitulación frecuentes:** La experiencia en las sesiones piloto y durante el desarrollo experimental confirma que los alumnos de primaria tienen dificultad para recordar la razón de ser de la actividad que están realizando, verbalizar sus propias acciones y organizar internamente lo aprendido. Esto se afronta mediante actividades específicas así como de manera informal (no programada) mediante la intervención del profesor.

– **Revisión experimental de la inteligibilidad de los dibujos, sintaxis y léxico:** En el diseño (y aplicación) de material curricular es fácil pasar por alto dibujos, palabras y construcciones sintácticas excesivamente complejas para el nivel de los alumnos, tal y como alertan Buty, Tiberghien y Le Maréchal (2004). Consecuentemente, durante las pruebas piloto prestamos especial atención a este fenómeno, incluida la ambigüedad asociada a los significados duales (popular/científico), lo que ha conducido a diversas correcciones.

## DISEÑO EXPERIMENTAL

Las secuencias han sido aplicadas por un maestro en ejercicio (A. Martínez Miguel) y por el autor del proyecto en dos escuelas de la ciudad de Alicante (C.P. Vorammar y C.P. Benalúa), de clase media-alta y media-baja respectivamente, con alta proporción de inmigrantes, a grupos de 5.º y 6.º curso (es decir, a cuatro grupos en total), que ya habían estudiado el tema de las estaciones y el modelo Sol-Tierra en 4.º curso). El diseño permite comparar, entre otros, los resultados por cursos, centros y docentes. La apropiación del modelo ha sido evaluada tanto en términos relativos (comparación pre-pos) como absolutos (porcentaje de alumnos que alcanzan los niveles establecidos como objetivo). La evaluación por niveles de desarrollo puede realizarse con el método tradicional de respuestas múltiples o, como es el caso, mediante respuestas binarias (V/F), en cuyo caso el nivel de aciertos exigido ha de ser más elevado ya que la probabilidad de falsos positivos es mayor. Se han utilizado las ideas alternativas de los alumnos para aumentar la dificultad.

Por ejemplo (nivel 3):

- Cuando el Sol está más alto es en verano, más que en primavera. (F)
- En otoño y en invierno el Sol está igual de bajo en el cielo. (V)
- A lo largo del invierno los días se van alargando (V)

En el cuestionario general hemos incluido algunas preguntas del nivel 2 y del nivel 3b como perspectiva adicional. Hemos considerado que el número total de preguntas debía rondar las veinte, ya que su respuesta requiere un alto nivel de atención incluso para un adulto experto. Adicionalmente hemos aplicado un cuestionario expandido a uno de los grupos –con un mayor número de preguntas de los niveles 2 y 3b– para obtener evidencia acerca del nivel inicial de los alumnos (preguntas del nivel 2) y de la cantidad de alumnos que han alcanzado el nivel 3b (objetivo de ampliación).

Por ejemplo:

Nivel 2:

- El Sol llega igual de alto todos los días del año (F)
- En verano los días duran más que en invierno (V)
- La noche y el día duran siempre lo mismo (F)

Nivel 3b:

- En mayo el Sol está más alto que en agosto (V)
- El 1 de noviembre el Sol está más bajo que el 1 de enero (F)
- El 30 de junio el día dura más que el 1 de junio (V)

En base a nuestro «juicio experto» –basado en el conocimiento del tema y en su enseñanza durante cuatro años en primaria y seis en magisterio– consideramos que un número de aciertos superior al 80% implica una buena apropiación del modelo.

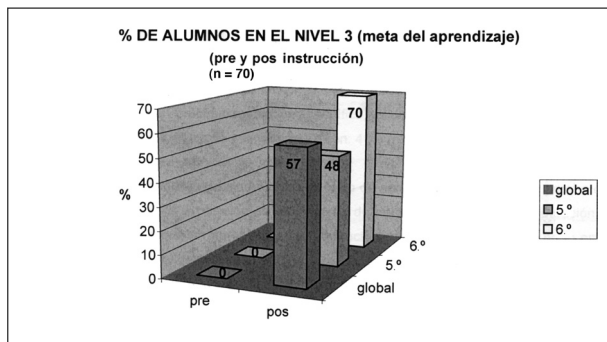
Adicionalmente hemos evaluado el desarrollo de capacidades procedimentales, concretamente la apropiación de la metodología de la investigación hecha en clase, mediante entrevistas a los alumnos de un grupo de 6.º en las que se solicitaba que propusieran cómo realizar investigaciones similares o algo distintas a las desarrolladas en clase. Concretamente las preguntas planteadas fueron:

*Si viajas a otro país, cómo podrías averiguar: 1. Si el Sol está en algún momento del año en la vertical. 2. A qué hora, en el horario oficial local, se produce la culminación. 3. En qué dirección está el Sol en la culminación en ese país.* Para valorar las respuestas se han utilizado los siguientes criterios: *Menciona correctamente: (pregunta 1) la utilización de un palo vertical, la identificación de ausencia de sombra en algún momento, la realización de la prueba a lo largo del año; (pregunta 2) el momento en el que la sombra es más corta; (pregunta 3) la dirección del Sol es la opuesta a la sombra cuando ésta es más corta, utilización de brújula u orientación de la base del gnomon.*

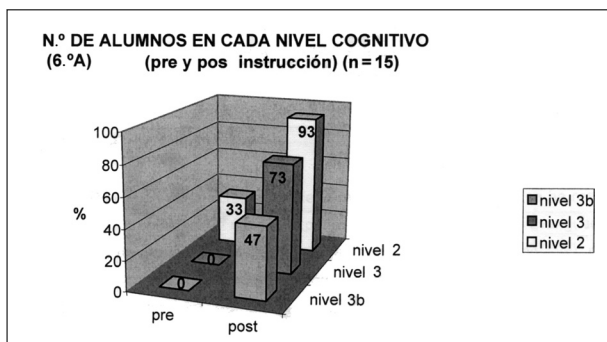
Finalmente hemos evaluado el efecto sobre las actitudes de los alumnos respecto a la ciencia y al método de enseñanza mediante cuestionarios sobre estos aspectos con respuestas según la escala Likert (v.i.).

## RESULTADOS

1. Los resultados de la prueba aplicada a todos los alumnos (n = 72) indican que en el pretest ningún alumno ha alcanzado el nivel 3 (la meta del aprendizaje)<sup>7</sup> mientras que en el posttest un 57% lo consigue (48% en 5.º y 70% en 6.º)<sup>8</sup>.



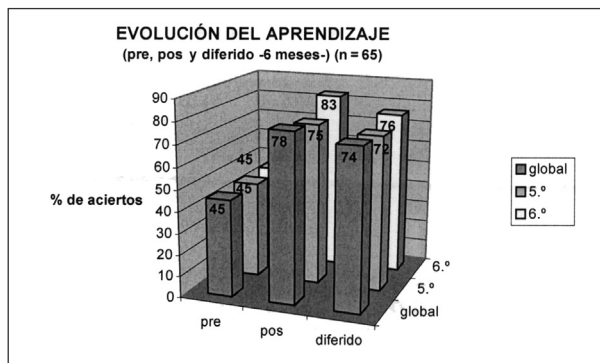
2. Las pruebas realizadas con el cuestionario expandido en un grupo de sexto indican que la mayoría de los alumnos no ha alcanzado ni siquiera el nivel 2 (constatación de la existencia de cambios en al menos dos de los parámetros) antes de la aplicación de las secuencias, a pesar de haber estudiado ya el tema en la escuela. Aunque la base es pequeña (n = 15) el resultado coincide con el de las pruebas cualitativas. En cambio, tras la aplicación de las secuencias la práctica totalidad de los alumnos de la muestra ha alcanzado el nivel 2 (todos excepto uno) y aproximadamente la mitad el 3b (cálculos a partir de la simetría alrededor de los solsticios, la meta de aprendizaje de ampliación). Todas las diferencias pre-pos son significativas con un nivel de confianza superior al 99%.



Como referencia para valorar adecuadamente el cambio producido, en una prueba realizada con alumnos de 1.º de magisterio (n = 58, sin formación específica, es decir equivalente a la situación de pre-instrucción) los resultados de aplicar la misma prueba son: 40% (nivel 2), 6% (nivel 3) y 2% (nivel 3b).

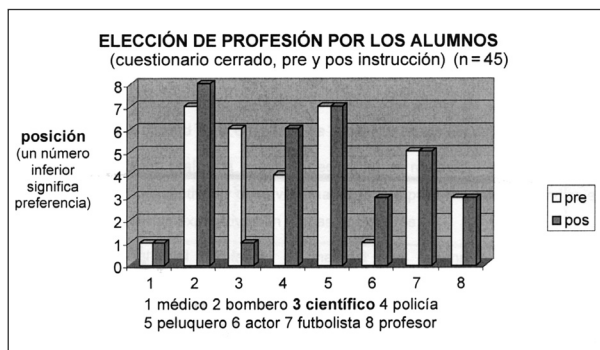
3. La permanencia del aprendizaje ha sido medida al cabo de seis meses<sup>9</sup> repitiendo la prueba con el cuestionario completo tras una exposición de recordatorio de tan sólo cinco minutos de duración. Esto se basa en el supuesto de que un aprendizaje bien estructurado, a diferencia del que no lo está, se recupera tras una breve actividad de recordatorio. Los resultados de las pruebas diferidas (74% de aciertos en promedio) son tan sólo ligeramente inferiores a los de las inmediatas al curso (78%) –aunque la diferencia es real con un 98% de confianza–, y muy superiores a los resultados *pre* (45%). En

las pruebas diferidas los resultados en 6.º (76%) vuelven a ser algo superiores a los de 5.º (72%), de nuevo conforme a las expectativas, dado el avance cognitivo que a estas edades supone el paso de un año.



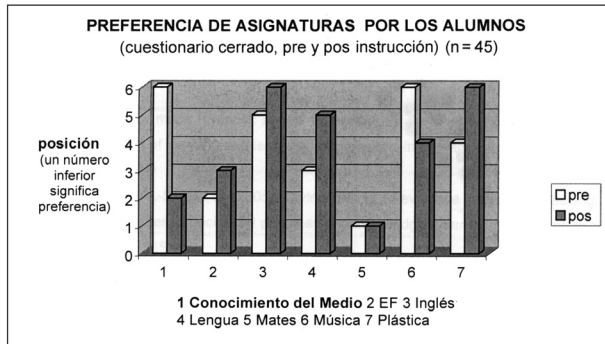
4. Como se ha dicho, la evaluación de la apropiación de la metodología investigativa se ha realizado solicitando a los alumnos que propusieran el método experimental para realizar ciertas averiguaciones relacionadas con las hechas en clase. En la valoración de las respuestas hemos distinguido entre las respuestas directas (con la única ayuda de preguntas generales: *¿y cómo harías eso?*) y aquellas que se han producido tras pedir aclaraciones específicas (preguntas que dan «pistas»: *¿y qué es lo que medirías con la brújula?*, *¿la dirección de qué sombra?*). En el cómputo global un 70% de los diseños solicitados son acertados directamente y tan sólo un 5% no son identificados directamente o al insistir. Curiosamente el elemento que menos respuestas directas ha obtenido (38%) es probablemente el más sencillo (la necesidad de repetir la medición a lo largo del año en la pregunta (1), siendo posible que los alumnos lo dieran por supuesto. De hecho las respuestas a la insistencia del entrevistador –todas correctas– así lo sugirieron.

5. Para obtener evidencia acerca del impacto de las secuencias en las actitudes de los alumnos, se solicitó que ordenaran por preferencia ocho profesiones entre las que se encontraba la de científico. Los resultados sugieren que el atractivo de la profesión de científico mejora entre los alumnos (n = 3 grupos, 45 alumnos) pasando de la sexta posición en el pretest a la primera (ex aequo con médico) en el postest.





En una pregunta similar relativa a la preferencia de asignaturas, Conocimiento del Medio asciende desde el sexto y último puesto (ex aequo) al segundo (a pesar de que los alumnos saben que el método y profesorado de la asignatura volverá a lo habitual tras el curso sobre el movimiento del Sol en el cielo; algunos, 10, especifican espontáneamente que se refieren a «la parte del Sol»).



**CONCLUSIONES**

Mientras que la mayoría de alumnos suelen acabar los estudios de primaria sin ni siquiera saber dibujar correctamente la trayectoria diaria del Sol en el cielo o haber constatado una variación en la elevación del Sol a lo largo del año, los resultados experimentales sugieren que la aplicación de estos diseños, en condiciones normales de enseñanza, consigue que una mayoría de alumnos realice las diferenciaciones necesarias y construya con ellas un modelo perdurable y científicamente correcto de las regularidades diarias y anuales en el movimiento del Sol en el cielo. Además, la evidencia generada, aunque limitada, indica que los alumnos mejoran su capacidad para pensar científicamente y su actitud hacia la ciencia. Todo ello apunta a que la metodología empleada –basada en el modelo de «secuencias problematizadas» y en el «mapa evolutivo» del tema– es una herramienta útil para mejorar sustancialmente la calidad de la enseñanza de la ciencia en las escuelas.

Por otro lado, la investigación realizada apoya la necesidad de replantear la enseñanza en primaria priorizando los contenidos descriptivos y observacionales, lo que posibilitaría un aprendizaje *cimentado* (en la percepción) de las teorías explicativas en etapas posteriores.

Las secuencias (material del profesor y material del alumno) están disponibles en: <<http://hdl.handle.net/10045/16279>>.

**NOTAS**

1. Nota de estilo: Una cita precedida por cf. quiere decir que lo afirmado se deduce de o encuentra apoyo en lo expuesto por el autor citado, mientras que una cita sin tal prefijo pretende reproducir, generalmente de forma resumida, las ideas del autor.
2. Todos los mapas realizados hasta la fecha atañen a conocimiento conceptual concreto. Por tanto, no existe aún evidencia de que los mapas evolutivos puedan ser aplicados de forma útil a contenidos abstractos.
3. Parece conveniente diferenciar entre *progresión de aprendizaje* –cualquiera de los itinerarios posibles que pueden seguir los aprendices– y *progresión de enseñanza* –el subconjunto de aquellos que se considera idóneo para la enseñanza– (Navarro Pastor, 2010).
4. Algunos de estos autores, tales como Piaget, Llinás y Edelman, subrayan el papel fundamental que juegan las acciones en este proceso. Los perceptos son la forma de representación del sistema sensoriomotor (Piaget y García, 1989/1983, p. 131).
5. Otro diseño probado es el de Bach, Couso y Franch (2006); éste no se basa en una enseñanza por investigación en la que el modelo se construye para explicar los datos observacionales, sino que el modelo es enseñado de forma *expositiva cerrada* y posteriormente los alumnos comprueban de forma *reflexiva* su coherencia con los datos observacionales (cf. Navarro Pastor, 2009).
6. Es investigativa porque los alumnos no sólo deben construir el nuevo conocimiento a partir de unas premisas (enseñanza reflexiva) sino que deben idear qué datos necesitan y, generalmente, el propio método experimental (la enseñanza investigativa puede incluir elementos de enseñanza reflexiva e incluso expositiva, subsumidos en la anterior por su menor jerarquía en el modelo). Es empírica ya que utiliza datos experimentales generados por los propios alumnos (aunque pueden ser complementados por datos de «otros investigadores»), y guiada porque, si bien los alumnos deben idear el método experimental, tal proceso es guiado por el docente hasta un diseño preestablecido.
7. Recordamos que la meta es alcanzar el nivel 3 cuantitativamente respecto a la duración y la culminación y cualitativamente respecto al azimut del orto y el ocaso.
8. El tamaño de la muestra en 5.º es 42 y en 6.º 30, por lo que la media está más afectada por los valores –inferiores– de 5.º.
9. En uno de los grupos de 6.º la prueba se realizó al cabo de tres meses pero la evolución de los resultados es totalmente comparable a la de los otros (reducción de 5 puntos porcentuales entre el pos y el diferido). Esto sugiere que la pequeña reducción producida al cabo de tres meses se ralentiza aún más a partir de ahí.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO LOPEZ, R. et al. (1995). Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), pp. 327-335.

AVRAAMIDOU, L. y ZEMBAL-SAUL, C. (2005). Giving priority to evidence in science teaching: A first year elementary teacher's specialised practices and knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(9), pp. 965-986.

BACH, J. y FRANCH, J. (2004). La enseñanza del sistema Sol-Tierra desde la perspectiva de las ideas previas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(3), pp. 302-312.

BACH, J., COUSO, D. y FRANCH, J. (2006). Estrategias de enseñanza del sistema Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14(1), pp. 29-37.

BAXTER, J.H. (1989). Children understanding of familiar astronomical beliefs. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 502-513.

BAXTER, J.H. (1998). The influences of the national curriculum on children's misconceptions about astronomy, en Gougenheim, L., McNally, D. y Percy, J.R. (eds.). *New Trends in Astronomy Teaching*, IAU Colloquium #162 en la University College London y la Open University, 8-12 Julio, 1996, pp. 139-146.

BRIGGS, D., ALONZO, A., SCHWAB, C. y WILSON, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), pp. 33-63.

BROUSSEAU, G. (1990). Le contrat didactique: le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9 (3), pp. 309-336.

BROUSSEAU, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.

BUTY, C., TIBERGHIE, A. y LE MARÉCHAL, J.F. (2004). Learning hypothesis and an associated tool to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 579-604.

DE MANUEL, J. (1995). ¿Por qué hay verano e invierno? Representaciones de estudiantes (12-18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 227-236.

FIBONACCI CONSORTIUM (2010). *The Fibonacci project. Disseminating inquiry based science and mathematics in Europe*. <<http://fibonacci.uni-bayreuth.de/home.html>> (recuperado: 5, diciembre, 2010).

FINEGOLD, M. y PUNDAK, D. (1991). A study of change in students' conceptual frameworks in astronomy. *Studies in Educational Evaluation*, 17(1) pp.151-166.

GALLAGHER, J.J. (2000). Teaching understanding and application of science knowledge. *School Science and Mathematics*, 100, pp. 310-318.

GARCÍA CAMARERO, E. (2008). La ciencia y la enseñanza de las ciencias en España: un ejercicio de memoria histórica. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), pp. 125-144.

GIERE, R.N. (1990). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.

GIERE, R.N. (1994). *Cognitive structure of scientific theories. Philosophy of Science*, 61, pp. 276-296.

GIL PÉREZ, D., CARRASCOSA ALÍS, J. y MARTÍNEZ TERRADES, F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 11-34. Alcoy: Marfil.

GIL QUÍLEZ, M.J. y MARTÍNEZ PEÑA, M.B. (2005). El modelo sol-tierra-luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), pp. 153-166.

HARLEN, W. y QUALTER, A. (2009). *The teaching of science in primary schools*. Abingdon: Routledge.

IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 45-59.

JACOBS, J.E. y SIMPKINS, S.D. (2006). Leaks in the pipeline to math, science, and technology careers: *New directions for child and adolescent development*, N.º 110. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

JIMÉNEZ-ALEXANDRE, M.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), pp. 203-216

KARMILOFF-SMITH, A. (1994/1992). *Más allá de la modularidad. La ciencia cognitiva desde la perspectiva del desarrollo*. Madrid: Alianza.

KUHN, D. (1992). Piaget's child as scientist. En H. Beilin y P.B. Pufall (eds.), *Piaget's theory: prospects and possibilities* (pp. 185-208). Lawrence Erlbaum.

LANCIANO, N. y CAMINO, N. (2008). Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Dificultades para la conceptualización de las coordenadas astronómicas acimut y altura. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), pp. 77-92.

LIJNSE, P. y KLAASSEN, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 537-554.

MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B. (2003). *La enseñanza/aprendizaje del modelo Sol/Tierra. Análisis de la situación actual y propuesta de mejora para los futuros profesores de primaria*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia. Directores: Bernabéu Pastor, G. y Martínez-Torregrosa, J.

MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2001). La enseñanza por investigación del modelo Sol/Tierra para futuros profesores de primaria. Planificación, desarrollo y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*. Núm. extra, pp. 213-214.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., VERDÚ CARBONELL, R. y OSUNA GARCÍA, L. (2008). Promover el interés por la cultura científica. Cambio en las actitudes del alumnado con una enseñanza problematizada. *Didáctica de las ciencias. Nuevas perspectivas*. La Habana: Sello Editor Educación Cubana, pp. 29-63.

MÉHEUT, M. y PSILLOS, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 515-535.

MULHOLLAND, J. y WALLACE, J. (2005). Growing the tree of teacher knowledge: Ten years of learning to teach ele-

- mentary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), pp. 767-790.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2000). *Educating teachers of science, mathematics and technology*. Washington D.C.: National Academy Press.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2001). *Astronomy and astrophysics in the new millenium*. Washington DC: National Academy Press.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington D.C.: National Academy Press.
- NAVARRO PASTOR (2002). Memoria presentada para optar al grado de Suficiencia Investigadora. Programa de doctorado, «Investigación Educativa: Desarrollo Curricular y Profesional» (2001-2003). Universidad de Alicante.
- NAVARRO PASTOR (2009). *Aprendizaje y enseñanza de astronomía diurna en Primaria*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. Directores: J. Martínez Torregrosa y N. Sauleda Pares.
- NAVARRO PASTOR, M. (2009b). Un modelo taxonómico de las actividades de enseñanza de la ciencia como instrumento de formalización del meta-lenguaje del diseño didáctico. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(2), pp. 209-222.
- NAVARRO PASTOR (2010). Evolutionary maps (Emaps): A new framework for the analysis of concrete knowledge and the development of learning and teaching progressions in primary education. En revisión.
- PIAGET, J. y GARCÍA, R. (1989/1983). *Psychogenesis and the history of science*. Nueva York: Columbia University Press.
- PRIETO, T., WATSON, R. y DILLON, J. (1992). Pupils understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22, pp. 331-340.
- RIBEIRO, M.F. y NETO, A.J. (2008). La enseñanza de las ciencias y el desarrollo de destrezas de pensamiento: un estudio metacognitivo con alumnos de 7.º de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), pp. 211-226.
- RIVARD, C.P. (2004). Are language based activities in science effective for all students. *Science Education*, 88(3), pp. 420-442.
- ROGAN, J.M. (2007). How much curriculum change is appropriate? Defining a zone of feasible innovation. *Science Education*, 91(3), pp. 439-460.
- SADLER, P. M. (1998). Psychometric models of student conceptions in science: Reconciling qualitative studies and distractor-driven assessment instruments. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, pp. 265-296.
- SCHOON, K.J. (1992). Students' alternative conceptions of Earth and space. *Journal of Geological Education*, 40, pp. 209-214.
- SCHWARTZ, M.S. y FISCHER, K.W. (2004). Building general knowledge and skill: cognition and microdevelopment in science learning, en Demetriou, A. y Raftopoulos, A. (eds.). *Cognitive developmental change: Theories, models, and measurement*, pp. 157-185. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- SCHWARZ, C.V., GUNCKEL, K.L., SMITH, E.L., COVITT, B.A., BAE, M., ENFIELD, M. y TSURUSAKI, B.K. (2008). Helping elementary preservice teachers learn to use curriculum materials for effective science teaching. *Science Education*, 92(2), pp. 345-377.
- SHARP, J. y KUERBIS, P. (2006). Children's ideas about the Solar System and the chaos in learning science. *Science Education*, 90(1), pp.124-147.
- SHARP, J.G., BOWKER, R., MOONEY, C. M., GRACE, M. y JEANS, R. (1999). Teaching and learning astronomy in primary schools. *School Science Review*, 80(292), pp. 75-86.
- SIEGLER, R.S. y CHEN, Z. (2008). Differentiation and integration: guiding principles for analyzing cognitive change. *Developmental Science* 11(4), pp. 433-453.
- SMITH, C., ANDERSON, C.W., KRAJCIK, J. y COPPOLA, B. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 4 (1 & 2), pp. 1-98.
- SNYDER, J.L. (2000). An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates and novices in physics. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 979-992.
- STERN, L. y ROSEMAN, J.E. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from Project 2061's curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(6), pp. 538-568.
- SUTHERLAND, P. (1992). *Cognitive development today. Piaget and his critics*. Londres: Paul Chapman.
- SUTTON, C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 21-25.
- TRUMPER, R. (2001). A cross age study of junior HS students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education*, 23(11), pp. 1.111-1.123.
- TURPIN, T. y CAGE, R.N. (2004). The effects of an integrated, activity-based science curriculum on student achievement, science process skills, and science attitudes. *Electronic Journal of Literacy through Science*, 3.
- VOSNIADOU, S. (1991). Designing curricula for conceptual restructuring; lessons from the study of knowledge acquisition in astronomy. *Journal of Curriculum Studies*, 23, pp. 219-237.
- VOSNIADOU, S., SKOPELITI, I. e IKOSPENTAKI, K. (2004). Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development*, 19(2), pp. 203-222.
- WALLACE, C.S. (2004). Framing new research in science literacy and language use: authenticity, multiple discourses and the third space. *Science Education*, 88, pp. 901-914.
- WATSON, R. PRIETO, T. y DILLON, J. (1997). Consistency in pupils' explanations about combustion. *Science Education*, 81, pp. 425-444.
- ZOHAR, R. (2006). El pensamiento de orden superior en las clases de ciencias: objetivos, medios y resultados de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), pp. 157-172.

[Artículo recibido en junio de 2010 y aceptado en febrero de 2011]

## Teaching-learning of daytime astronomy in primary education through «Problematized sequences» based on «Evolutionary maps»

NAVARRO PASTOR, MANUEL  
Universitat d'Alacant  
manuel.navarro@ua.es

### Summary

Many authors mention a serious failure of Science education. For instance, according to a recent study with 350 Spanish children, only one third of the students in their final year of primary school know that the Sun's daily path is an arch with end points on the horizon, and only slightly more than half of them know that the day begins and ends with the sun on the horizon. Although there are many causes to this failure, the poor quality of textbooks plays undoubtedly an important role.

Coherently with the above mentioned, the purpose of this project has been to develop and validate experimentally curricular material about the daily and seasonal cycles, for primary education, applicable in a typical classroom under realistic conditions. This development involves the application of a new methodology for the design of learning goals (*evolutionary maps*) and an adaptation to primary school of the methodology of *problematized sequences*.

### DESCRIPTION

The project theoretical framework supports the desirability of giving priority to observational and descriptive knowledge in primary education, while postponing explanatory theories to secondary school. It also argues that it is paramount to base primary school learning in empirical experience (to anchor the conceptual framework in perception), whether the methodology is declarative or, preferably, by inquiry.

Evolutionary maps are a type of very fine grained learning progressions that identify precisely the different pathways that apprentices may follow in the development of a (concrete) conceptual subsystem, as well as the differences between the mental model of an individual and scientific knowledge (i.e., it provides the structure of the required conceptual change in the form of unrealized differentiations and erroneous or missing integrations). Also, it enables the design of learning progressions and evaluation methods based on development levels. This methodology has identified four levels of differentiation (with the corresponding integrations) in the understanding of the annual cycles of the movement of the sun in the sky (relative to the duration of the day, the culmination of the sun and the azimuth of sunrise and sunset), that compose an structured set of learning goals.

The teaching methodology is based on the problematized sequences model, which is a form of guided inquiry in which a question about the natural world is posed to the students, who must solve it by designing and executing a number of intermediate inquiries, the structure of the se-

quence, with the help of the teacher. All classroom work is framed in the meta-discourse of learning to become scientists. Special attention is given to the connection of new knowledge to the students' lives (*experiential*). Pupils are given frequent opportunities to develop scientific arguments, orally and in writing, and to reflect on meta-scientific concepts. It is ensured that they remain oriented, with frequent recapitulations of both knowledge and method. The intelligibility of the text is reviewed experimentally, both for syntax and vocabulary. The teacher's version is like the students' except that guidance is included in the spaces left for the students' answers. This equality of format with the students' materials makes it extremely practical.

The sequences have been applied by an in service teacher and by the author of the project in two schools in the city of Alicante, upper-middle class and lower-middle respectively, with a high proportion of immigrants, to four groups of 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> grade. The results of the test given to all students (n = 72) indicate that in the pre-test no student had achieved level 3 (the highly demanding learning goal), even though this subject had been taught in 4<sup>th</sup> grade, while in the post-test 48% of 5<sup>th</sup> graders and 70% of 6<sup>th</sup> graders did. The results of a test applied six months later (74% right answers) are only slightly lower than those in the test done immediately after the course (78%). In addition, separate testing indicates that a majority of students (over 70%) have learned to design an experiment in this field and that there has been a major improvement in their attitude towards Science learning and the scientific professions.

### CONCLUSIONS

While most Spanish students end primary school without knowing how to draw correctly the daily path of the sun in the sky or without having realised that there is a variation in the elevation of the sun throughout the year, these experimental results suggest that the implementation of these designs, in a typical school set up, get a majority of students to develop a scientifically accurate and lasting model of the regularities in the daily and annual movement of the sun in the sky. Moreover, the evidence generated indicates that students improve their ability to think scientifically and their attitude towards Science. All this suggests that the methodology used, based on the model of problematized sequences and the evolutionary map of the subject, is a useful tool to improve the quality of science teaching in schools. Besides, this research supports the need to focus primary Science teaching on observational and descriptive contents learned through empirical inquiry.

The sequences are available at:  
<<http://hdl.handle.net/10045/16279>>.