

LA ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DEL MODELO SOL-TIERRA: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE MEJORA PARA LA FORMACIÓN DE LOS FUTUROS PROFESORES DE PRIMARIA

Bernat Martínez Sebastià¹

Resumen: El trabajo que presentamos es un resumen extenso de la tesis doctoral del autor. El enfoque utilizado ha sido tratar de ligar la investigación sobre las ideas, razonamientos y obstáculos de los profesores de primaria con la planificación de la enseñanza del modelo Sol-Tierra que permite explicar el ciclo día/noche y las estaciones. En primer lugar, se ha procedido a realizar un análisis crítico de los resultados que se obtienen en el aprendizaje de los contenidos astronómicos en la enseñanza habitual. En segundo lugar se ha diseñado un curriculum potencialmente superior de esta situación desde una orientación que concibe la enseñanza y el aprendizaje como un proceso de construcción de conocimientos en una estructura problematizada. Finalmente, esta secuencia didáctica ha sido experimentada con diferentes grupos de estudiantes de magisterio, mostrando una mejora relevante en la comprensión de los conceptos astronómicos fundamentales.

Palabras clave: Astronomía, enseñanza, aprendizaje observación, modelo.

Abstract: *This work is an extended summary of the author's PhD thesis. It deals with the teaching of astronomy (day/night, seasons) in primary school. At first, students teachers' understanding of astronomical concepts related to Sun-Earth system have been analysed. Taking into account the results of the previous analysis and using a socio-constructivist approach a teaching sequence has been designed. This sequence has been tested with different groups of students teachers showing an improvement in their understanding of elementary astronomical concepts.*

Keywords: *astronomy; teaching; learning; observation; model*

1. Introducción

Los modelos son una parte integral de la forma de pensar y trabajar de los científicos, por lo que forman parte de los productos de la ciencia y de la metodología científica. Desde el punto de vista de la didáctica de las ciencias, son considerados como una de las herramientas más importante de enseñanza y aprendizaje (Harrison y Treagust, 2000). De hecho, la comunidad de investigadores en educación científica está evidenciando durante los últimos años un creciente interés por el tratamiento de los modelos en las clases de ciencias; una muestra de ello es la edición (en septiembre de 2000) de un número del *International Journal of Science Education* especialmente dedicado a los modelos como base para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En dicha publicación, Clement (2000) establece una distinción entre los modelos aprendidos de forma repetitiva y aquellos aprendidos de manera que pueden ser utilizados de forma funcional para explicar un

¹CEFIRE (Centro de Formación, Innovación y Recursos Educativos) de Benidorm. Alicante (España). – e-mail: cabernat@teleline.es

conjunto de fenómenos y hacer predicciones sobre nuevos fenómenos. En este contexto, consideramos relevante una investigación centrada sobre la enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra que permite explicar el ciclo día/noche y las estaciones del año, ya que:

- La comprensión del modelo Sol-Tierra es considerada parte de la cultura científica que todo ciudadano debería poseer como resultado de su paso por el sistema educativo (Millar y Osborne, 1998; Gil et al, 1998).
- En consonancia con esta pretensión, los contenidos relativos al tema forman parte de los “mínimos” o “standards”, desde el inicio de la etapa primaria hasta el final de la obligatoriedad, en todos los países occidentales (por ejemplo; National Research Council, 1996; Government’s Department Education, 2003, MEC, 2003).
- Por ser uno de los temas tratados más tempranamente, puede influir notablemente en la creación de una imagen ajustada de la naturaleza de la ciencia, así como en el fomento de actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje (Pozo y Gómez Crespo, 1998).
- Dado que es enseñado por una gran parte del profesorado de primaria y enseñanza obligatoria, puede ser especialmente adecuado para mejorar su pensamiento didáctico (García Barros et al, 1996; Navarrete, 1998; Martínez Torregrosa, Martínez Sebastià y Gil, 2003).

Sin embargo, en aparente contradicción con la importancia otorgada a este tema por los investigadores y los diseños curriculares oficiales, los estudiantes tienen enormes dificultades para utilizar con comprensión el modelo Sol-Tierra en la explicación de los fenómenos astronómicos elementales, como se manifiesta en un gran número de estudios.

Conscientes de esta problemática, nuestro trabajo pretende aportar nuevos datos al estudio de la enseñanza/aprendizaje de los modelos científicos. Concretamente, este trabajo quiere profundizar en el análisis de la situación de la enseñanza (presentación didáctica en los libros de texto y forma en que los profesores lo enseñan en el aula) y aprendizaje (dificultades de los estudiantes) del modelo Sol-Tierra en la educación secundaria. Para, a continuación, intentar encontrar propuestas alternativas para actualizar la formación de los profesores sobre este tema y así contribuir a mejorar la alfabetización científica de todos los ciudadanos. El planteamiento del trabajo trata pues de ser integrador, ya que se liga la investigación sobre las ideas, razonamientos y obstáculos de aprendizaje del alumnado con la innovación y planificación de la enseñanza.

2. Estado de la cuestión y planteamiento del problema

En las dos últimas décadas, se ha realizado un gran número de investigaciones que muestran que las alumnas y alumnos encuentran serias dificultades de aprendizaje en la comprensión del modelo Sol-Tierra. Algunos de estos trabajos se han dedicado a analizar las ideas de los estudiantes sobre la forma de la Tierra (Nussbaum, 1979; Baxter, 1989;

Sharp, 1996; Sneider y Ohadi, 1998). Otros trabajos han investigado los modelos de los estudiantes sobre los fenómenos astronómicos elementales como el ciclo día/noche y las estaciones (Schoon, 1992; Lightman y Sadler, 1993; De Manuel, 1995; Martínez Sebastià, 1998; Galili y Lavrik, 1998). Paralelamente, desde el campo de la psicología cognitiva, Vousniadou y Brewer (1992, 1994) han mostrado que los estudiantes utilizan unos modelos alternativos (*synthetic models*) sobre la forma de la Tierra y el ciclo día/noche, que surgen al tratar de reconciliar la información recibida en la escuela con sus ideas espontáneas.

Además, en otras investigaciones se señala que la pervivencia de las concepciones alternativas sobre el modelo del sistema Sol-Tierra se prolonga más allá de la escuela secundaria, afectando también a estudiantes de magisterio y profesores de primaria. Así, algunos autores (Summers y Mant, 1995; Camino, 1995; Atwood & Atwood, 1995, 1996; Navarrete, 1998) describen las ideas de los profesores de primaria (en formación y activo) sobre los modelos astronómicos, señalando la existencia de similitudes entre dichos modelos y los que proponen los alumnos.

Frente a este panorama se han intentado diversas alternativas consistentes en dedicar más tiempo y esfuerzos a la enseñanza de la Astronomía, basadas en la idea de que es particularmente difícil a nivel conceptual, así como en actualizar los conocimientos de los profesores sobre estos temas (García Barros et al, 1996; Lanciano, 1996; Parker y Heywood, 1998). El análisis de esta situación nos ha llevado a las siguientes apreciaciones:

- Los estudios mencionados son pocos en comparación con la abundante bibliografía que existe en otras áreas de investigación, como por ejemplo en los modelos sobre la estructura de la materia donde los estudiantes también han de establecer una correspondencia entre un conjunto de fenómenos y un modelo teórico.

- Se ha prestado muy poca atención al conocimiento observacional de los alumnos y a su interrelación con los modelos que estos proponen. Como señalan algunos autores (Albanese et al, 1997), el conocimiento de las regularidades astronómicas es una pieza fundamental en el proceso de construcción y validación de los modelos astronómicos, ya que ¿cómo se puede justificar el modelo Sol-Tierra si se desconocen las regularidades que deben ser explicadas?

- Por último, también hemos detectado una falta de investigaciones que ayuden a definir las condiciones en las que se debe desarrollar una enseñanza de los conceptos astronómicos que facilite que el alumnado construya y maneje unos modelos acordes con los modelos científicos. En este sentido, la influencia de la visualización y razonamiento espacial en la construcción de los modelos astronómicos es reconocida en diversos trabajos (Mathewson,1999)

Teniendo en cuenta estas consideraciones surge la necesidad de realizar estudios que faciliten el cambio de la enseñanza habitual de los modelos astronómicos, muy poco eficaz,

por una nueva enseñanza que favorezca que los estudiantes se apropien del modelo científico. Así pues, las cuestiones que hemos abordado en este estudio son:

1. ¿Qué sería necesario para aprender con comprensión un modelo Sol-Tierra adecuado para explicar y predecir las observaciones sobre el movimiento del Sol?
2. ¿En qué medida en la enseñanza habitual se suministran oportunidades adecuadas para que dicho aprendizaje sea posible? ¿Qué carencias presenta la enseñanza habitual de este tema?
3. ¿Podemos planificar y desarrollar una instrucción que supere las deficiencias detectadas? ¿En qué medida se consigue el aprendizaje con comprensión que pretendemos? ¿Qué opinión tienen los profesores sobre esta alternativa?

Señalemos que la diversidad de aspectos implicados en la investigación (ideas de los alumnos, análisis de la enseñanza, innovación educativa, opiniones del profesorado,...) nos ha llevado a considerar dos referentes teóricos. Por una parte, hemos fundamentado nuestro trabajo en los resultados de la investigación didáctica sobre las causas que dificultan el aprendizaje de las ciencias. Concretamente en los estudios realizados sobre: las concepciones alternativas de los alumnos, sus pautas y estrategias de razonamiento, sus concepciones epistemológicas y sus estrategias metacognitivas (Campanario y Otero, 2000). Por otra parte, la innovación didáctica que presentamos se sitúa dentro de lo que se conoce como modelo de enseñanza/aprendizaje por investigación o por resolución de problemas (Gil, 1993; National Research Council, 1996, Cañal, 1999), en el que se concibe el aprendizaje como un proceso de evolución y cambio conceptual y metodológico.

3. El desarrollo de la Astronomía como Ciencia: indicadores de una buena comprensión del modelo Sol-Tierra

Es un hecho reconocido que el estudio de la Historia y la Filosofía de la Ciencia puede desempeñar un papel de gran importancia en relación a la enseñanza de las ciencias (Matthews, 1994; Duschl, 2000). Desde esta perspectiva se ha realizado un estudio histórico-epistemológico con intencionalidad didáctica con un objetivo doble. Por una parte, se ha pretendido extraer información sobre las posibles dificultades de comprensión de los alumnos, a partir de las resistencias y obstáculos que se manifestaron a lo largo de la historia. Por otra parte, se ha intentado establecer, mediante un proceso de transposición didáctica, la selección, presentación y secuenciación del contenido que se ha de enseñar y aprender en la escuela (la ciencia escolar).

Así, se ha realizado una profunda revisión de la evolución histórico-epistemológica del modelo Sol-Tierra, considerando como núcleo conceptual la interconexión entre los datos observacionales disponibles en cada momento histórico y la elaboración de modelos teóricos (Hanson, 1978; Kuhn, 1981; Pérez Sedeño, 1986; Gapillard, 1993). Como resultado de este estudio se han identificado los obstáculos de aprendizaje y los indicadores

de una comprensión del modelo Sol-Tierra asumible por los alumnos de secundaria. Estos indicadores se han organizado según las dos dimensiones siguientes:

- Dimensión fenomenológica, que se manifiesta por un conocimiento de las regularidades en el movimiento observable del Sol: qué aspectos se pueden observar (duración del día, posición de salida y puesta, altura angular máxima), cómo observarlos y medirlos, reconocimiento de la existencia de días singulares (equinoccios y solsticios) y de las simetrías estacionales (desde un punto de vista astronómico, primavera y verano son simétricas, es decir, para cada día de verano hay uno de primavera con igual duración del día).
- Dimensión de modelización, que se manifiesta por la capacidad de utilizar las hipótesis básicas del modelo (la Tierra gira alrededor de su eje, siempre paralelo a sí mismo, y alrededor del Sol en una órbita prácticamente circular) para explicar las observaciones conocidas (saber justificar el ciclo día/noche y las estaciones) y para predecir nuevas observaciones (saber qué ocurre en otras latitudes).

4. Análisis de la situación actual de la enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra

4.1. Primera hipótesis y consecuencias contrastables

Equipados con el bagaje teórico obtenido del estudio histórico-epistemológico se ha procedido al análisis crítico del aprendizaje logrado por los alumnos y de la enseñanza que se imparte, y que tiene como protagonistas principales al profesorado y a los libros de texto. Así, se ha formulado una primera hipótesis que está relacionada con los resultados que se obtienen en el aprendizaje de los contenidos astronómicos en la enseñanza habitual.

Hipótesis 1: Los alumnos que acaban los estudios de secundaria carecen del conocimiento de aspectos imprescindibles para una comprensión y uso funcional del modelo Sol-Tierra y la enseñanza habitual no presta atención a dichos aspectos.

Es necesario advertir que no queremos decir que todas las dificultades para aprender provengan de la enseñanza y que desaparecerían con una instrucción adecuada. Precisamente uno de los resultados del estudio histórico-epistemológico realizado es que no es fácil llegar a apropiarse de un modelo Sol-Tierra. No obstante, lo que queremos someter a prueba es que las dificultades lógicas e inherentes a este aprendizaje se ven agravadas por las deficiencias y carencias de la enseñanza habitual. Para someter a prueba dicha hipótesis de forma operativa se han derivado un conjunto de consecuencias contrastables, organizadas según las dos dimensiones de una adecuada comprensión del modelo Sol-Tierra, que se presentan en el cuadro siguiente:

Una adecuada comprensión del modelo supondría...	Consecuencias contrastables : Sin embargo.....
Conocer las regularidades observacionales, lo que implica: A. Reconocer los aspectos del movimiento del Sol que se pueden observar (Duración del día, salida/puesta y altura máxima del Sol). B. Conocer la existencia de días singulares (equinoccios/ solsticios) y las simetrías en torno ellos C. Distinguir los aspectos observacionales de los del modelo	Los estudiantes A. No poseen los suficientes conocimientos observacionales para determinar la estación en que se encuentran B. Desconocen las regularidades y simetrías del movimiento del Sol en torno a días especiales a lo largo del año C. No distinguen entre las observaciones y el modelo
	Los libros de texto y profesores A. Presentan de forma aproblemática el modelo Sol-Tierra, sin haber presentado previamente los aspectos observacionales. B. No prestan atención a la adquisición del conocimiento empírico observacional sobre el que construir el modelo C. No hacen, siquiera, referencia a la naturaleza tentativa del modelo Sol-Tierra
Poder “hacer funcionar” el modelo, lo que implica: D. Conocer las hipótesis básicas del modelo E. Manejarlas de forma operativa para explicar las observaciones conocidas y realizar predicciones. F. Conocer la existencia de distintos modelos alternativos	Los estudiantes D. Poseen ideas alternativas sobre el modelo E. Tienen dificultades para explicar las observaciones elementales (hacer funcionar el modelo).
	Los libros de texto y profesores D. Ignoran o favorecen las posibles ideas espontáneas erróneas de los estudiantes, incluso, las fomentan E. No incluyen actividades para que los alumnos hagan funcionar el modelo F. No prestan, siquiera, atención al desarrollo histórico del modelo

Tabla 1. Consecuencias contrastables de la primera hipótesis y su relación con los indicadores de comprensión del modelo

4.2. Diseño experimental

4.2.1. Muestras

Puesto que nuestra hipótesis pretende comprobar el conocimiento del modelo Sol-Tierra al finalizar la enseñanza secundaria, decidimos elegir las muestras entre los estudiantes de Magisterio. El motivo de esta elección es que el estudiante de Magisterio puede considerarse como el prototipo del universitario medio: su procedencia es tanto de la opción de letras como de ciencias y además la nota requerida para el ingreso es también media (alrededor del 6.50). Por otra parte, los estudiantes de Magisterio, futuros profesores

de Primaria, serán los encargados de iniciar a los estudiantes en sus primeros pasos en la comprensión de modelo Sol-Tierra. Así, la muestra elegida consta de un total de 194 alumnos de primer y segundo curso de Magisterio, divididos en dos grupos.

- Grupo A: formado por alumnos de primer curso (N=79) de la Escuela Universitaria de Formación del Profesorado de la Universidad de Alicante (curso 98-99). Dichos alumnos cursaban una asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales que incluía un tema de Astronomía y se les administraron los cuestionarios en una actividad de clase de detección de ideas previas.

- Grupo B: formado por alumnos de primero y segundo (N=115) de la Escuela Universitaria de Formación del Profesorado de la Universidad de Alicante (curso 99-00), también de la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales. A dichos alumnos se les administraron los cuestionarios una semana después de haber realizado individualmente y entregado por escrito al profesor de la asignatura un trabajo bibliográfico sobre cómo enseñarían “las estaciones del año y el movimiento del Sol y la Tierra a sus futuros alumnos”. Los libros utilizados en la realización del trabajo fueron libros de texto de Primaria y Secundaria y enciclopedias (en papel o en formato electrónico), es decir, las mismas fuentes a las que un profesor en activo de Primaria podría recurrir.

La razón de escoger estas muestras distintas es que queríamos diferenciar los resultados achacables al mero olvido -al analizar y comparar las respuestas de estudiantes que habían y que no habían revisado los conocimientos sobre dicho tema- y acercarnos lo más posible a lo que los estudiantes podrían hacer cuando enseñaran a sus futuros alumnos utilizando los recursos habituales de un profesor de Primaria.

En cuanto a las muestras utilizadas para el análisis crítico de la enseñanza habitual, estas se refieren tanto a libros de texto (organización y secuenciación de los contenidos astronómicos), como al profesorado (estrategias de enseñanza utilizadas para desarrollar dichos contenidos).

Los libros de texto son, probablemente, el material didáctico más utilizado en las clases de ciencias y determinan por la vía de hecho qué es lo que se hace en el aula, dado que no sólo incluyen información en diferentes formatos, sino que contienen una propuesta didáctica explícita o implícita. Por tanto, se ha considerado que son un buen instrumento de análisis de la realidad del aula. Así, se ha utilizado una muestra de 33 ejemplares de libros de texto, de distintos niveles y asignaturas, en los que aparecen contenidos relacionados con el modelo Sol-Tierra.

El profesorado como agente fundamental de la actividad educativa también ha sido objeto de análisis. Así, se ha utilizado una muestra de 121 profesores de secundaria en activo, que en sus clases trataban temas con contenido astronómico. Dichos profesores contestaron los cuestionarios en el marco de una actividad previa durante la realización de diversas actividades de formación en los que iban a ser presentados y discutidos los materiales que forman parte de nuestra propuesta.

4.2.2. INSTRUMENTOS

Por lo que se refiere a los instrumentos empleados para analizar el aprendizaje de los estudiantes, dadas las características de nuestra investigación y los precedentes teóricos y prácticos de trabajos en este ámbito, hemos adoptado dos técnicas de recogida de datos: una cuantitativa (cuestionario de opción múltiple y de tipo verdadero/falso) y otra cualitativa (cuestionario abierto), ya que el tipo de información que aportan resulta diferente, pero complementaria. En algunos aspectos de la investigación (por ejemplo, sobre el conocimiento observacional), la inexistencia de un instrumento de evaluación adecuado a los fines planteados nos llevó a diseñar cuestiones “ad hoc”. Por otra parte, el proceso de elaboración del cuestionario, con la confección de borradores, revisiones posteriores por expertos y profesorado del área y la aplicación de un cuestionario piloto previo a la redacción final, avalan la validez del mismo.

El cuestionario está compuesto de 30 ítems agrupados en dos apartados: uno relativo al conocimiento de los aspectos observacionales y el otro relacionado con los aspectos teóricos del modelo. A título ilustrativo se presentan algunos de los ítems incluidos en cada apartado.

En primer lugar, presentamos un ejemplo de cuestión abierta dirigida a explorar el conocimiento de los estudiantes sobre los aspectos astronómicos que reconocen que se pueden observar y sobre cómo estos aspectos caracterizan cada estación.

<p><i>Imagina que estás en Alicante, pero desconoces en qué estación del año te encuentras ¿qué observaciones y mediciones sobre el movimiento del Sol podrías realizar para asegurarte en qué época del año estás? Señala el mayor número posible de aspectos en los que te fijarías y concreta, para cada uno de ellos, qué información puedes extraer para resolver la cuestión. (Ayúdate de dibujos, escribe, expresa tus razonamientos...)</i></p>

Tabla 2. Ejemplo de cuestión abierta dirigida a explorar el conocimiento observacional de los estudiantes

El análisis de las respuestas de los estudiantes nos ofrecerá información sobre el número de aspectos observacionales que describen (duración del día, altura del Sol y posición de salida/puesta) y sobre la calidad de dichas descripciones (su precisión; si son únicamente verbales o si incluyen algún tipo de dibujo aclaratorio...). Los resultados de dicho análisis se contrastarán con los obtenidos mediante los cuestionarios de opción múltiple como el que se expone a continuación, referido a los cambios en la duración del día.

*1.1 Sabemos que la duración de los días (es decir, las horas de Sol) no es la misma a lo largo del año. Ahora bien, ¿sabes si hay algún día en el año que tenga 12 horas de Sol?
a) Ninguno; b) Uno (¿Cuál?,); c) Dos (¿Cuáles?,); d) Otra respuesta*

*1.2. Imagina que estás a 11 de junio. El número de días que tendrás que esperar para que el día vuelva a durar lo mismo, será aproximadamente:
a) 20 días; b) 180 días; c) 365 días; d) Otra respuesta*

*1.3. ¿Qué crees que ocurre con la duración de los días (es decir, horas en las que vemos el Sol) durante el verano?
a) Alargan; b) Acortan; c) Permanecen igual; d) Otra respuesta*

*1.4. Un amigo tuyo dice que “A mi me gusta más el verano que la primavera, ya que en verano los días son más largos que en primavera” ¿Que piensas tú?
a) Los días de verano son más largos que los de primavera; b) Los días de primavera son más largos que los de verano; c) Los días de primavera y verano son igual de largos; d) Otra respuesta*

*1.5. Señala si crees que la siguiente afirmación es verdadera o falsa:
Cualquier día de verano dura más que cualquier otro día del resto del año*

Tabla 3. Cuestiones dirigidas a explorar el conocimiento observacional de los estudiantes sobre la duración del día

Finalmente, mostramos un ejemplo de cuestión dirigida a comprobar el grado de coordinación de los aspectos observacionales con los del modelo. En este caso se han realizado dos versiones de cada cuestión. En primer lugar se presentó la versión abierta, dirigida a explorar el alcance y las limitaciones del manejo operativo de los modelos utilizados por los estudiantes, y, posteriormente, se suministró la versión en opción múltiple, para detectar la tendencia de los alumnos a utilizar modelos asociados a determinados esquemas alternativos. Aunque puedan parecer reiterativas, ambas respuestas son útiles metodológicamente, ya que al confrontarlas podremos apreciar claramente las dificultades que presenta la comprensión de los modelos astronómicos frente al conocimiento meramente declarativo, así como analizar el grado de coherencia del pensamiento de los alumnos.

- 3.a. ¿Por qué el Sol en verano sale antes y se pone después que en invierno, es decir por qué los días son más largos en verano?*
- 3.b. ¿Cuál crees que es la causa más importante de que en verano los días sean más largos que en invierno?*
- a) Es debido a que la órbita de la Tierra no es una circunferencia*
 - b) Es debido a la inclinación del eje de la Tierra*
 - c) Es debido a que en verano la Tierra está más cerca del Sol*
 - d) Es debido a los fenómenos atmosféricos*

Tabla 4. Ejemplo de grupo de cuestiones dirigidas a explorar el modelo utilizado por los alumnos para explicar los cambios en la duración de los días

Otro tipo de instrumentos se han dirigido a explorar como los libros de texto y los profesores presentan el modelo Sol-Tierra en sus programaciones. Por una parte, se ha diseñado una red de análisis compuesta por seis ítems, organizados según los indicadores de una adecuada comprensión del modelo, para el análisis de los contenidos astronómicos de los libros de texto. Por otra parte, se han diseñado dos cuestiones abiertas dirigidas al análisis de la presentación didáctica del profesorado: en una se les demanda sobre las propuestas de actividades que realizan y sobre su organización, la otra hace referencia a los conocimientos de los profesores sobre las dificultades de los alumnos en la comprensión de los modelos astronómicos.

4.3. Resultados

La presentación de resultados integra los datos de tipo cuantitativo y cualitativo que hemos obtenido. Asimismo, estos datos se vinculan con los aspectos de carácter didáctico con los que guardan una estrecha relación. En síntesis, se puede afirmar que los resultados confirman la ausencia generalizada de los indicadores de una adecuada comprensión del modelo Sol-Tierra en la enseñanza y aprendizaje habitual de la Astronomía. En concreto, esos indicadores están ausentes en lo que saben los estudiantes, así como en lo que hacen y dicen los profesores y libros de texto. Resulta imposible en este resumen profundizar en los resultados obtenidos en cada uno de los apartados. Nos detendremos, por tanto, en aquellos aspectos más significativos utilizando como hilo conductor de la presentación los indicadores de una buena comprensión del modelo Sol-Tierra mencionados anteriormente.

En primer lugar, nos referiremos a los indicadores que muestran que los alumnos carecen del conocimiento observacional imprescindible para poder justificar racionalmente un modelo Sol-Tierra y que en la enseñanza habitual no se le presta atención a este requisito.

1. Los estudiantes no reconocen, ni la enseñanza trata con extensión suficiente, los cambios en los aspectos observables del movimiento del Sol (duración del día, salida y puesta y altura máxima)

Sólo un 9% de los estudiantes (incluso después de realizar un trabajo bibliográfico sobre las estaciones) hacen referencia a todos los aspectos que se pueden observar para poder determinar en que estación se encuentran. Este desconocimiento de los aspectos observacionales se demuestra claramente en el hecho de que una mayoría cree en la existencia de observaciones imposibles. Por ejemplo, el 86% afirman que el lugar por donde sale el Sol no cambia a lo largo del año y el 58% que no cambia la altura máxima. Estos resultados están en consonancia con la forma en que los fenómenos astronómicos son tratados en la enseñanza habitual. Así, sólo el 3% de los libros analizados propone la observación directa de todos los aspectos observables y la cuarta parte (24%) introduce directamente el modelo Sol-Tierra antes de mencionar siquiera alguna observación. Por otra parte, sólo el 12% de los profesores encuestados proponen, en su planificación ideal del tema, un apartado sobre adquisición, revisión o desarrollo del conocimiento empírico observacional.

2. Los estudiantes no conocen, ni la enseñanza trata adecuadamente, la existencia de días singulares (equinoccios y solsticios) y las regularidades y simetrías en torno a ellos.

En cuanto se refiere al conocimiento de hechos astronómicos relevantes para la justificación del modelo, hemos comprobado que sólo el 23% de los alumnos de Magisterio son capaces de identificar los equinoccios y el 9% los solsticios. Además, hemos constatado que este desconocimiento va asociado a una visión distorsionada de cómo se producen los cambios a lo largo del año. Así, menos de la quinta parte de los estudiantes es consciente de que primavera y verano son estaciones simétricas respecto a la duración del día (18%) y respecto a la altura máxima (13%). El análisis de los libros de texto demuestra que sólo el 18% expresan cómo identificar operativamente los equinoccios, y sólo el 21% los solsticios. Además, apenas el 3 % hace referencia, siquiera de pasada, a la simetría de las estaciones. Esta falta de atención al conocimiento de las regularidades observacionales se pone de manifiesto también en los resultados relativos a los profesores, ya que sólo el 4 % hacen referencia a un conocimiento superficial y/o erróneo de los ciclos y simetrías observacionales por parte de los alumnos como posible fuente de dificultades para comprender el modelo Sol-Tierra.

3. Los estudiantes confunden, y la enseñanza no distingue adecuadamente, el estatus epistemológico de los aspectos observacionales de los aspectos teóricos del modelo.

En las condiciones descritas, resulta lógico suponer que los estudiantes tendrán dificultades para separar el conocimiento fenomenológico o empírico del conocimiento teórico propio del modelo, es decir, que el Sol sale por el este o que el eje de la Tierra está inclinado, serán catalogados como hechos. Efectivamente, hemos podido comprobar que el

64% de los estudiantes mezclan aspectos observacionales y los del modelo cuando se les pide una descripción de los aspectos observables que nos permiten identificar una estación. Esta falta de atención a las dificultades de los alumnos al separar lo que es observacional de lo que es imaginado se manifiesta claramente en los libros de texto, puesto que sólo la quinta parte (21%) manifiesta la naturaleza tentativa de los modelos astronómicos, distinguiéndolos así epistemológicamente de las observaciones. Por su parte, sólo el 6% de los profesores proponen, en su planificación ideal del tema, alguna situación o apartado en que los alumnos han de formular hipótesis encaminadas a la explicación de los fenómenos astronómicos.

En segundo lugar, nos referiremos a los indicadores que muestran que los alumnos tienen dificultades para “apropiarse” del modelo Sol-Tierra, es decir, relacionarlo con los fenómenos astronómicos de su entorno, y que la enseñanza habitual no pone las condiciones adecuadas para que esto ocurra.

4. Los estudiantes utilizan ideas alternativas del modelo Sol-Tierra y la enseñanza no tiene en cuenta la existencia de estas ideas, incluso en algunos casos, las induce.

Se puede afirmar que la mayoría de los estudiantes tienen un conocimiento meramente declarativo de las hipótesis del modelo. Sin embargo, este conocimiento va acompañado de la utilización de ideas alternativas que se manifiestan en mayor o menor grado dependiendo del contexto. Por ejemplo, el 31% representa que los rayos solares llegan divergentes a la superficie de la Tierra para justificar así las diferencias de temperatura con la latitud; el 81% utiliza la idea de los cambios en la distancia Sol-Tierra para explicar la diferente duración de los días en verano e invierno. Esta tendencia a utilizar ideas alternativas se ve favorecida por la presentación del modelo que realizan los libros de texto, pues el 76% hace comentarios o presenta ilustraciones del modelo que contienen errores o que pueden inducir a ideas erróneas. Sin embargo, sólo la cuarta parte (24%) propone alguna cuestión o comentario que tiene en cuenta las ideas alternativas de los estudiantes sobre el modelo. En cuanto a los profesores, el 26% reconoce que la existencia de las ideas alternativas dificulta la comprensión del modelo Sol/Tierra, pero sólo el 15% propone, en su planificación ideal del tema, algún comentario sobre la necesidad de tener en cuenta las ideas alternativas de los estudiantes sobre el modelo.

5. Los estudiantes no hacen uso operativo de las hipótesis del modelo para explicar las observaciones conocidas y la enseñanza no fomenta el uso funcional de dichas hipótesis.

De acuerdo con las ideas actuales sobre la enseñanza de las ciencias, el objetivo de aprendizaje no puede limitarse a “saber que la Tierra es una esfera que gira sobre sí misma y alrededor del Sol”, sino saber explicar hechos y fenómenos astronómicos del entorno mediante dichas hipótesis. Sin embargo, nuestros resultados indican que muy pocos estudiantes son capaces de generar representaciones que relacionen adecuadamente las observaciones y el modelo. Así, sólo el 4% utiliza operativamente la hipótesis de que la

Tierra es esférica para explicar las diferencias climáticas en lugares de diferente latitud, representando como un haz de rayos se distribuye de forma diferente en lugares de distinta latitud. El 39% representa la Tierra girando alrededor de su eje para explicar el movimiento diario del Sol, aunque ninguno justifica el sentido del movimiento de rotación elegido. Sólo el 9% representa la Tierra con su eje inclinado y los elementos necesarios (línea día-noche, paralelo del lugar) para explicar la distinta duración del día con las estaciones. Apenas el 2% representa la Tierra con su eje inclinado y los elementos necesarios (ángulo que forman los rayos solares con el horizonte) para explicar las diferencias climáticas con las estaciones. Finalmente, ningún estudiante es capaz de justificar los cambios en la posición de salida del Sol en las distintas estaciones.

Por su parte, los libros de texto manifiestan una desatención alarmante a la representación gráfica de los elementos necesarios para que el modelo sea funcional, por ejemplo, sólo el 9% representa el plano del horizonte del lugar (tangente a la superficie de la Tierra) para señalar la mayor o menor inclinación con que llegan los rayos solares a ese lugar. Sólo el 18% incluyen actividades en las que los estudiantes han de hacer funcionar el modelo para explicar determinadas observaciones. En cuanto a la presentación didáctica de los profesores, aunque el 39% reconoce que las dificultades de comprensión del modelo están asociadas con el razonamiento y la visualización espacial, sólo el 21% señala la conveniencia de que los estudiantes utilicen estrategias de coordinación del modelo con las observaciones.

6. Los estudiantes no reconocen, y la enseñanza no manifiesta, la existencia de distintos modelos alternativos que pueden dar cuenta de las mismas observaciones

Precisamente debido al carácter tentativo de los modelos es posible imaginar la posibilidad de que existan diversos conjuntos de hipótesis que permitan explicar las mismas observaciones, por ejemplo: hipótesis geocéntrica o heliocéntrica. Sin embargo, los estudiantes, probablemente convencidos de que el modelo utilizado es un hecho, manifiestan una fidelidad absoluta al modelo heliocéntrico. Solamente en casos aislados comenten el “desliz” de manejar hipótesis geocéntricas. Así, el 12% justifica el movimiento diario del Sol mediante el giro de éste alrededor de la Tierra. Y es que sólo el 36% de los libros de texto hace algún comentario histórico sobre el desarrollo de los modelos astronómicos y apenas el 6% señala que tanto mediante el modelo geocéntrico como el heliocéntrico se pueden explicar las observaciones relacionadas con el movimiento del Sol sobre horizonte. Finalmente, sólo el 11% de los profesores proponen, en su planificación ideal del tema, algún comentario histórico relacionado con la existencia de modelos astronómicos alternativos.

Los resultados globales que hemos presentado hasta aquí nos permiten validar -de forma rotunda en la mayoría de los casos- todas y cada una de las consecuencias que previamente habíamos derivado de nuestra hipótesis. Con la intención de superar la situación crítica que se ha descrito, hemos dedicado nuestro esfuerzo a formular una propuesta alternativa que permita que la enseñanza/aprendizaje de la Astronomía se

convierta en una ocasión privilegiada para que los estudiantes construyan un modelo científico que sea utilizado para explicar los fenómenos astronómicos del mundo que les rodea.

5. Una propuesta de mejora para la enseñanza de los futuros profesores de primaria

Los resultados de la primera hipótesis muestran que lograr que los alumnos aprendan Astronomía, y que lo hagan de un modo significativo y relevante, requiere superar no pocas dificultades. Por tanto, podemos suponer que la adquisición del conocimiento científico implica un cambio profundo de las estructuras conceptuales y las estrategias habitualmente utilizadas en la vida cotidiana, y que ese cambio, lejos de ser lineal y automático, debe ser el producto laborioso de un largo proceso de construcción social que sólo puede alcanzarse mediante una enseñanza eficaz que sepa afrontar las dificultades que plantea el aprendizaje. En este sentido, nuestra intención ha sido tratar de investigar cuáles son las estrategias y enfoques de enseñanza que hacen más probable el aprendizaje del modelo Sol-Tierra. El enfoque propuesto está teóricamente fundamentado en las teorías actuales sobre cómo aprenden las personas: las orientaciones constructivistas del aprendizaje (Driver et al, 1993) y, más concretamente, en el modelo de enseñanza por investigación.

El modelo de enseñanza/aprendizaje por investigación o resolución de problemas comparte con la ciencia su interés por los modelos y considera la modelización como una actividad dirigida a fomentar el aprendizaje significativo y que puede facilitar un mejor entendimiento de la naturaleza de la ciencia (Gilbert y Boulter, 1998). Desde este enfoque se supone que de la misma forma que en la ciencia los conocimientos se elaboran para resolver los problemas planteados, una enseñanza basada en el abordaje de situaciones problemáticas favorecerá el aprendizaje (Gil, 1993). Se trata de favorecer una forma de trabajo en el aula que facilite la explicitación de las propias ideas y su confrontación con las de otros, en un ambiente hipotético-deductivo rico en episodios de argumentación y justificación, tan importantes para el aprendizaje de conocimientos científicos (Newton, Driver y Osborne, 2000).

Creemos que es muy significativo el hecho de que las recientes propuestas curriculares han hecho suya esta orientación. Así, los National Standards for Science Education (1996) proclaman que *"en todos los niveles, la educación científica debe basarse en la metodología de la investigación"*, como forma de favorecer, tanto una actividad significativa, en torno a problemas susceptibles de interesar a los estudiantes, como su progresiva autonomía de juicio y capacidad de participación en tareas colectivas.

Por último, hay que señalar que se ha tenido en cuenta la existencia de antecedentes en lo que se refiere a la construcción y comprensión de modelos por los estudiantes en otros campos, como por ejemplo en las teorías sobre la estructura de la materia (Larcher y Chomat, 2000). En estos trabajos se muestra que cuando se utilizan estrategias de

enseñanza que tienen en cuenta los aspectos históricos y acordes con la visión actual de la didáctica de la ciencia, la mayoría de los estudiantes acceden a una correcta comprensión de los modelos científicos.

5.1. SEGUNDA HIPÓTESIS

Todo lo anterior nos ha hecho concebir la posibilidad de proponer una hipótesis superadora para el curriculum de Astronomía. Se trata de reformular su organización, secuenciación y desarrollo de forma que el aprendizaje se aborde mediante un tratamiento más acorde con la naturaleza del conocimiento científico, que favorezca una adecuada comprensión de los modelos y que estimule las motivaciones y actitudes positivas hacia la disciplina y su aprendizaje. Estas consideraciones se concretan en la siguiente hipótesis de trabajo:

HIPÓTESIS 2: La enseñanza del modelo Sol-Tierra, desde una orientación que concibe la enseñanza y el aprendizaje como un proceso de construcción de conocimientos en una estructura problematizada, resulta más relevante que la utilizada habitualmente, tanto desde un punto de vista conceptual como epistemológico, genera oportunidades adecuadas para aprender en el aula, produce actitudes positivas y un aprendizaje más significativo en el alumnado, y es valorada positivamente por los profesores que han de impartir Astronomía en la etapa secundaria.

5.2. CONSECUENCIAS CONTRASTABLES Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Con la intención de operativizar esta hipótesis se han derivado consecuencias susceptibles de ser contrastadas experimentalmente (tabla 5). La primera consecuencia se refiere a la posibilidad de elaborar un programa de actividades para la introducción del modelo Sol-Tierra coherente con los resultados de la investigación didáctica actual. Para la elaboración de dicha secuencia de actividades se realizó una adaptación de un programa de actividades del propio autor (Martínez Sebastià, 1998) para ser impartido por uno de los directores de esta tesis (Dr. Joaquín Martínez Torregrosa) a los alumnos de Magisterio en la asignatura de "Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza". El programa de actividades se probó durante el curso 98-99, a la vista de los resultados obtenidos se realizaron los ajustes oportunos y se experimentó en su versión definitiva durante los cursos 99-00 y 00-01. El número de sesiones utilizadas para su desarrollo en el aula fue aproximadamente de 25.

Otra consecuencia contrastable se refiere a que el desarrollo en el aula de dicho programa de actividades genera oportunidades para aprender con comprensión y que produce mejores resultados en los estudiantes. En este caso el diseño experimental seguido se puede definir como validación interna: se considera como grupo de control a los propios grupos experimentales antes de la instrucción y se trata de establecer la existencia de mejoras comparando las producciones de los alumnos antes y después del proceso de

instrucción. El motivo de haber optado por este tipo de validación radica en la dificultad de localizar muestras comparables, en el sentido de haber trabajado en clase los contenidos del modelo Sol-Tierra asignándole una cantidad de tiempo equivalente. Los instrumentos utilizados en este diseño son de distinta naturaleza.

Por una parte, se han utilizado técnicas cualitativas de observación de clase: análisis de las aportaciones, dibujos, mapas conceptuales, etc..., elaborados por los alumnos, detección de las dificultades con las que se encontraban y atención a las intervenciones del profesor, etc. El propósito era analizar hasta que punto las actividades utilizadas permitían que los alumnos construyesen los conocimientos deseados cuando se enfrentan a cada una de dichas actividades, al mismo tiempo la retroalimentación obtenida nos ha permitido mejorar algunas de dichas actividades.

Por otra parte, con el propósito de verificar que los alumnos habían aprendido de una forma significativa el modelo Sol-Tierra, se diseñaron distintos cuestionarios en los que se recogían los indicadores de una adecuada comprensión del modelo: conocimiento del referente empírico, utilización del modelo para explicar las observaciones y hacer predicciones. Durante el curso 99-00, se eligieron cuestiones que facilitasen la comparación con las utilizadas en los cuestionarios preinstrucción. Durante el curso 00-01 se diseñaron cuestiones de mayor nivel de dificultad con objeto de valorar el grado de avance conseguido en la comprensión del modelo. Dichos cuestionarios se pasaron al terminar todas las actividades del programa y en situación de examen. Además, se administraron cuestionarios para medir los cambios en las actitudes de los estudiantes hacia la enseñanza.

Por último, otra consecuencia contrastable se refiere a la aceptación del programa por otros profesores. Con este fin, se han realizado cursos de corta duración (entre 20 y 30 horas) en los que se han presentado de una manera justificada los materiales elaborados y se han debatido y desarrollado en pequeños grupos las actividades que se propondrían a los alumnos. Como instrumento para poner a prueba en qué medida nuestra propuesta es valorada por el profesorado se ha utilizado un cuestionario de valoración comparativa. En dicho cuestionario se plantea a los profesores que valoren distintos aspectos estratégicos y metodológicos que pueden estar presentes en la enseñanza de la Astronomía respecto a tres criterios: según su importancia para comprender el modelo Sol-Tierra y según el grado en que son tratados adecuadamente en la enseñanza habitual y en nuestra propuesta.

La enseñanza/aprendizaje del modelo sol-tierra: análisis de la situación...

CONSECUENCIAS CONTRASTABLES	INSTRUMENTOS / MUESTRAS
H2.1. Desde el modelo de enseñanza por investigación es posible elaborar un programa de actividades con una estructura problematizada para la introducción del modelo Sol-Tierra, coherente con los resultados de la investigación didáctica.	- Análisis del proceso de planificación de la secuencia de actividades para mostrar que es potencialmente relevante (tiene en cuenta ideas previas y los obstáculos encontrados en la primera hipótesis; permite formular modelos, ejercitar la visión espacial.)
H2.2. El desarrollo en el aula de la secuencia problematizada mejora la enseñanza y aprendizaje del modelo, lo que se manifiesta en que: <ul style="list-style-type: none"> • Suministra oportunidades en el aula para que los alumnos aprendan con comprensión • Produce una mejora de todos los indicadores de una adecuada comprensión del modelo • Permite que los alumnos alcancen un manejo altamente operativo del modelo • Se logra una mejora en su actitud hacia la enseñanza 	- Observación clase: Descripción de lo que ocurre en clase en el desarrollo de las actividades (25 horas) - Cuestionario de comparación pre-postinstrucción (179 estudiantes de Magisterio) - Cuestionario grado progreso en la utilización del modelo (132 estudiantes Magisterio) - Cuestionarios sobre actitudes (221 estudiantes de Magisterio)
H2.3. Los profesores que participan en cursos en los que se desarrolla la propuesta perciben positivamente dicha propuesta y realizan una crítica de los materiales didácticos habituales	- Cuestionarios de valoración comparativa (149 profesores primaria y secundaria)

Tabla 3. Visión global del diseño experimental para la contrastación de la segunda hipótesis

5.3. Resultados

5.3.1. Resultados que muestran el desarrollo del programa de actividades

Para mostrar que es posible realizar una organización y secuenciación de contenidos adecuados al modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación, la primera consecuencia de la segunda hipótesis ha previsto la puesta a punto de un programa de actividades que desarrolle el tema de Astronomía. Debemos señalar que la elaboración de desarrollos curriculares efectivos es considerada como una actividad esencialmente investigadora (Lijnse, 1995; Scott y Driver, 1998). El resultado de la investigación-acción desarrollada es, por una parte, una secuencia de actividades (especificada a nivel de microcurrículo, tal como recomienda Millar, 1989) adaptadas a las necesidades de aprendizaje de los alumnos y, por otra, una documentación sobre los propósitos didácticos de cada actividad. Estos propósitos tienen que ver con los procedimientos cognitivos que queremos lograr en los alumnos, por ejemplo, generar un conflicto cognitivo, dar lugar a la formulación de una hipótesis, promover la reflexión metacognitiva...

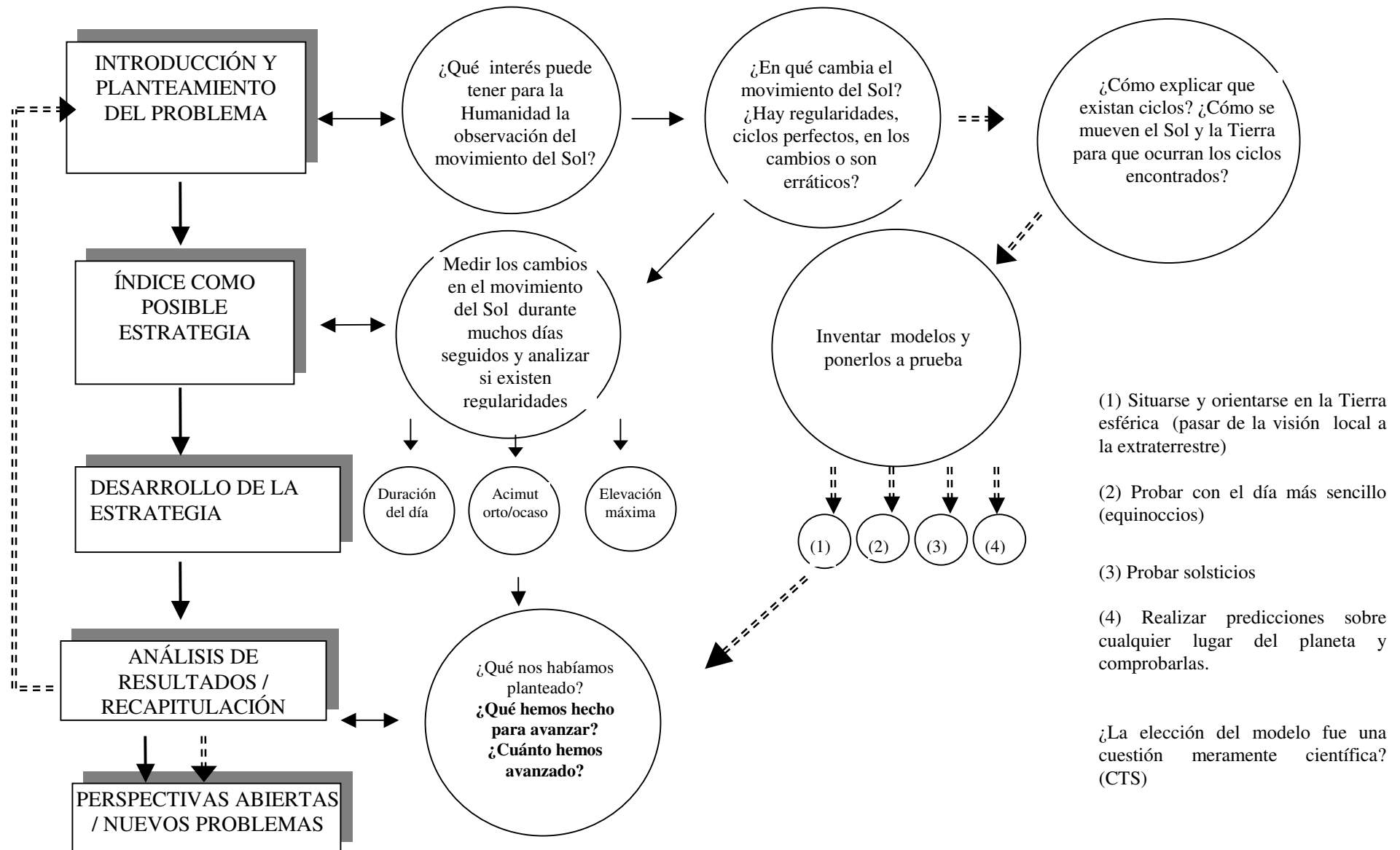
En la elaboración de la secuencia de actividades se han tenido en cuenta las ideas de Vygotsky (1979) sobre la construcción social del conocimiento, especialmente en lo que se refiere al concepto de ‘zona de desarrollo próximo’. Así, se ha graduado la dificultad de cada actividad y se ha previsto la ayuda adecuada en función de las dificultades del estudiante para enfrentarla. De este modo se espera que mediante la interacción y la ayuda de los otros, el alumno pueda participar en el proceso de construcción, modificación y enriquecimiento de los modelos que define el auténtico aprendizaje significativo (Hodson y Hodson, 1998).

Para organizar la estructura del tema se han utilizado los resultados del estudio histórico-epistemológico. De esta forma se ha diseñado el programa de actividades o “plan de investigación” (Martínez Sebastià et al., 2003) como una posible estrategia para avanzar en la solución al problema planteado (*¿Cómo deben moverse el Sol y/o la Tierra para explicar las regularidades observacionales diurnas que podemos realizar desde el lugar donde vivimos o desde cualquier otro punto del planeta?*), enmarcada en un ambiente hipotético deductivo que suministre oportunidades para la apropiación de la epistemología científica. De acuerdo con las dimensiones de los indicadores de comprensión se ha optado por dividir los contenidos en dos subproblemas.

- En la primera unidad didáctica, los alumnos han a realizar las observaciones diurnas que muestran cómo son los cambios en los días a lo largo del año. Se pone énfasis en el planteamiento de problemas (qué interés tiene seguir el movimiento del Sol, qué observaciones hay que realizar), en el diseño y realización de observaciones (cómo hay que realizar las observaciones), en el análisis y discusión de los resultados y en organizar la información recogida en un cuerpo estructurado de conocimientos empíricos.

- En la segunda unidad didáctica, se plantea a los alumnos la construcción de un modelo que permita explicar las observaciones locales. Esta construcción se realiza de forma jerárquica de tal modo que el modelo se va ampliando a medida que aumenta el número de fenómenos que pretende dar cuenta, lo cual permite incrementar simultáneamente las habilidades de visualización y representación espacial de los alumnos.

Esta propuesta de presentación y secuenciación de la enseñanza del modelo Sol-Tierra aparece representada de forma gráfica en el esquema 1 de la página siguiente.



ESQUEMA 1. ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DEL TEMA

5.3.2. Resultados que muestran el aprendizaje logrado con la aplicación del programa de actividades

Mediante la aplicación de técnicas cualitativas de observación se ha mostrado que durante el desarrollo del proceso de enseñanza/aprendizaje, los alumnos trabajando en grupos y dirigidos por el profesor, consiguen construir modelos que coinciden con los propuestos por los científicos a lo largo de la historia. Es decir, hemos observado que los alumnos consiguen hacer operativo un modelo que ya conocen de haberlo visto en los libros de texto (modelo heliocéntrico del eje inclinado, modelo de Copérnico) y que además son capaces de “inventar” un modelo nuevo para ellos, o mejor dicho, una representación original del modelo heliocéntrico en el que el eje permanece vertical mientras que la que la órbita de la Tierra está inclinada (modelo propuesto por Aristarco). Este hecho demuestra el alto grado de desarrollo de las habilidades de visualización y razonamiento espacial que consiguen alcanzar los alumnos.

Las pruebas realizadas al final de la enseñanza muestran claramente que una gran parte de los alumnos son capaces de reconocer las características de los días singulares (equinoccios y solsticios) y de manejar operativamente la idea de simetría tanto en el movimiento diario del Sol como respecto a equinoccios y solsticios. Así, el 76% describe verbalmente las observaciones del movimiento del Sol en los días singulares y el 64% describe gráficamente dichas observaciones. Más del 80% de los alumnos son capaces de utilizar la simetría en el movimiento diario del Sol para predecir el valor de observaciones en la hora y la posición de puesta del Sol. Más de las tres cuartas partes de los alumnos reconocen que las estaciones son simétricas y pueden predecir las características de un solsticio (duración del día, azimut de salida/puesta y altura máxima) a partir de los datos del otro solsticio.

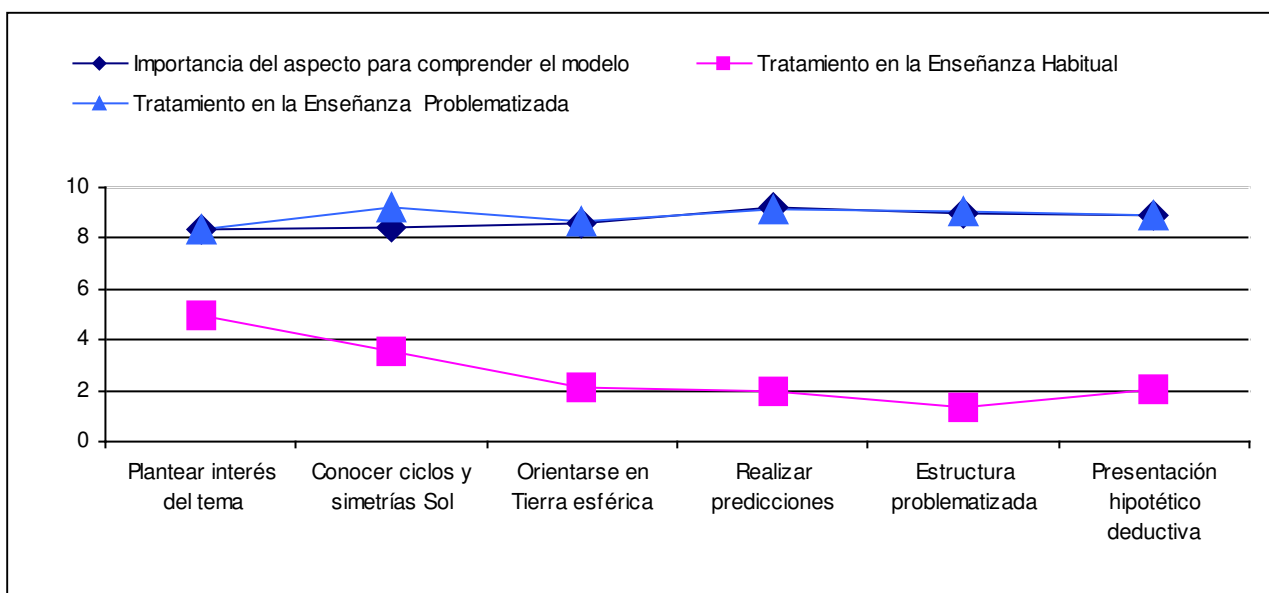
Por otra parte, se observa un gran salto en la comprensión funcional del modelo: el 90% es capaz de usarlo para explicar los cambios locales en la duración del día a lo largo del año (utilizando el 76% tanto el punto de vista lateral como el superior en las representaciones del modelo), el 69% utilizan correctamente la vista lateral para justificar los cambios en la elevación angular máxima y el 56% en el acimut del orto/ocaso. Incluso cuando, durante el curso 2000-01, se administraron pruebas mucho más exigentes en las que los alumnos debían predecir los valores de determinadas observaciones para lugares de distinta latitud, se obtuvieron resultados satisfactorios.

Por último, los estudiantes expresan una actitud positiva hacia los contenidos tratados y la forma de trabajarlos en clase. Así, los resultados obtenidos en las distintas pruebas nos permiten afirmar con claridad, que los futuros profesores de Primaria valoran muy positivamente la instrucción recibida, afirman que la estructura problematizada les ayuda a aprender, a estar orientados, tienen una elevada sensación de “avance”, de “aprender de verdad” y más de un 70 % (de especialidades aparentemente muy alejadas de la Ciencia, como las de Lengua Extranjera y Educación Musical) la eligen entre las dos asignaturas en que han tenido “mayor sensación de aprendizaje”.

5.3.3. Resultados de la valoración de la propuesta experimental por profesores en activo

Los resultados de los cuestionarios contestados por los profesores en activo que han participado en cursos de formación impartidos por profesores/investigadores muestran que estos no sólo valoran muy positivamente la potencialidad de los materiales para favorecer el aprendizaje conceptual y metodológico, sino que expresan expectativas alentadoras sobre su capacidad para generar actitudes positivas en los alumnos.

Como ejemplo mostramos una representación gráfica (gráfica 1) en la que se ve claramente cómo coincide prácticamente la importancia de un determinado aspecto metodológico para la comprensión del modelo Sol-Tierra con el tratamiento que recibe en nuestra propuesta. Dicho de otro modo, aquello que los propios profesores consideran altamente importante recibe un tratamiento altamente adecuado en nuestra propuesta. La separación, en cambio, con la gráfica que representa el tratamiento que se presta a cada aspecto en la enseñanza habitual es enorme.



Gráfica 1. Valoración asignada por los profesores a la importancia de determinados aspectos para la comprensión de modelo Sol-Tierra y a su tratamiento en la enseñanza habitual y en la propuesta alternativa.

Y no se trata sólo de la valoración cuantitativa. El análisis de las valoraciones abiertas y comentarios de los profesores apoyan de una manera más personal una opinión muy favorable de las estrategias de aprendizaje puestas en juego en los materiales didácticos presentados, al tiempo que critican las de la enseñanza habitual. Uno de los aspectos en los que los profesores pusieron más énfasis es en su potencialidad para producir un aprendizaje

significativo de los modelos astronómicos: *facilita que los alumnos superen sus concepciones alternativas, sin imponerlas; permite un aprendizaje duradero, ya que al final hacen suyas las ideas básicas del modelo; potencia la imaginación y las habilidades de visualización espacial; permite reflexionar sobre lo que se sabe...*

6. Conclusiones, recomendaciones y problemas abiertos

La puesta a prueba de las derivaciones de las dos hipótesis emitidas ha conducido a resultados que en todos los casos son convergentes y que podemos resumir en las siguientes conclusiones generales:

1. Los estudiantes que han recibido una enseñanza convencional acaban sus estudios de secundaria sin una comprensión adecuada del modelo Sol-Tierra, presentando dificultades y concepciones alternativas sobre diferentes aspectos de dicho modelo (como por ejemplo: desconocimiento de los aspectos se pueden observar y de la existencia de días singulares y de las simetrías alrededor de ellos, justificación de las estaciones por los cambios en la distancia Sol-Tierra,...). En síntesis, después de años de escolarización el conocimiento del modelo Sol-Tierra alcanzado puede ser catalogado como conocimiento “inerte”, inservible.

2. La enseñanza habitual no favorece que los estudiantes aprendan de una forma significativa el modelo Sol-Tierra, ya que se hace una presentación dogmática de los contenidos caracterizada por mostrar a los alumnos los productos de la ciencia como saberes acabados, en los cuales, como señala irónicamente Claxton (1994), deben creer con fe ciega. Además, no se tienen en cuenta las posibles concepciones alternativas de los estudiantes sobre las regularidades en los fenómenos astronómicos elementales, ni sobre los modelos que permiten explicar la existencia de dichas regularidades. En algunos casos, la propia presentación de los libros de texto está en el origen de dichas concepciones alternativas. En definitiva, podemos concluir que las deficiencias encontradas en los alumnos después de su formación en secundaria, son un reflejo de las carencias de la enseñanza convencional. Si dominar el modelo Sol-Tierra no es fácil, la enseñanza habitual lo hace casi imposible.

3. Se ha mostrado que desde el modelo de enseñanza por investigación dirigida es posible elaborar un programa de actividades para la introducción de los contenidos de Astronomía relacionados con el modelo Sol-Tierra que es coherente con las aportaciones actuales de la investigación didáctica en la enseñanza de las ciencias.

4. Se ha podido comprobar que la secuencia problematizada de actividades genera oportunidades adecuadas para aprender en el aula. Lo que se traduce en que, en unos porcentajes muy altos, los alumnos que han utilizado estos materiales logran comprender (en el sentido de poder justificar sus conocimientos) el modelo Sol-Tierra. Además, expresan una actitud positiva hacia los contenidos tratados y la forma de trabajarlos en clase.

5. El profesorado que ha considerado con reflexión las características de esta propuesta innovadora cuestiona de modo efectivo la enseñanza habitual de la Astronomía y valora positivamente nuestra propuesta de enseñanza frente a los enfoques convencionales, por lo que hay una alta probabilidad de ser llevada a las aulas en sustitución de otras formas de enseñar.

De estas conclusiones se pueden derivar algunas recomendaciones relativas al diseño curricular. Unas se refieren a la representación icónica de los modelos, aspecto decisivo dada la gran importancia que tienen hoy en día las imágenes en los materiales curriculares. Se trataría de recomendar a los profesores y, especialmente, a los autores de libros de texto que utilizaran distintas perspectivas en las representaciones del modelo (por ejemplo, vista superior y vista lateral), así como que incluyesen todos los elementos necesarios (por ejemplo, plano del horizonte) para facilitar la “lectura” de la información contenida en la imagen. Otras recomendaciones se refieren a la diferenciación epistemológica entre observación (empírica) y modelo (teórico) debido a su clara influencia en la adquisición de una ajustada imagen de la naturaleza de la ciencia.

Siendo coherentes con un planteamiento de enseñanza/aprendizaje por investigación, es preciso añadir a las conclusiones expuestas algunas cuestiones que quedan abiertas a partir de los avances obtenidos en este trabajo. Una posible vía de investigación podría ser controlar el conocimiento de del modelo después de un período de tiempo considerable (por ejemplo, un curso completo). Otra podría ser estimar el grado de transferencia en cuanto a las destrezas de modelización al abordar situaciones nuevas, por ejemplo, el modelo Sol-Tierra-Luna o los modelos planetarios. Por último, dado que la muestra de estudiantes eran futuros profesores de Primaria, un problema que queda abierto es que harían con el conocimiento adquirido a la hora de enseñar a niños de Primaria. Este es un problema de gran interés por su influencia en la alfabetización científica de los futuros ciudadanos que esperamos abordar próximamente.

P.D.: He de agradecer los comentarios y sugerencias de dos árbitros anónimos, sus aportaciones han sido decisivas para clarificar el contenido del artículo y ordenar algunos aspectos bibliográficos.

Referências

ALBANESE, A., et al.- Models in science and in education: A critical review of research on students' ideas about the Earth and its place in the universe- **Science & Education**, n.6, 573-590, 1997.

ATWOOD, R. y ATWOOD, V. -Preservice elementary teachers' conceptions of what causes night and day - **School Science & Mathematics**, n. 95, 290-294, 1995.

ATWOOD, R. y ATWOOD, V. - Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons - **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 5, 553-563, 1996.

- BAXTER, J. - Children's understanding of familiar astronomical events- **International Journal of Science Education**, v. 11, n.6 502-513, 1989.
- CAMINO, N. - Ideas previas y cambio conceptual en Astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la Luna- **Enseñanza de las Ciencias**, v.13, n.1, 81-96, 1995.
- CAMPANARIO, J.M. y OTERO. J.C. - Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias - **Enseñanza de las Ciencias**, v.18, n.2, 155-169, 2000.
- CAÑAL, P. - Investigación escolar y estrategias de enseñanza por investigación.- **Investigación en la Escuela**, v. 8, n.3, 15-36, 1999.
- CLAXTON, G.. **EducAR mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela**. Madrid: Aprendizaje Visor, 1994.185p.
- CLEMENT, J. - Model based learning as a key research area for science education. - **International Journal of Science Education**, v. 22 n. 9, 1041-1053, 2000
- De MANUEL, J. - ¿Porqué hay veranos e inviernos? Representaciones de estudiantes (12-18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra.- **Enseñanza de las Ciencias.**, v.13, n.2, 227-236, 1995.
- DRIVER, R., LEACH, J., SCOTT, P. & WOOD-ROBINSON, C. - Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. - **Studies in Science Education**, n. 24, 75-100, 1994.
- DUSCHL, R.A. Making the nature of science explicit. In.: Millar, Leach y Osborne (Ed) **Improving science education. The contribution of research**. London: Open University Press, 2000. Cap. 11, 187-206.
- GALILI, I. y LAVRIK, V. - Flux concept in learning about light: a critique of the present situation.- **Science Education**, v. 82, n.6. 591-613, 1998.
- GAPAILLARD, J. **Et pourtant elle tourne!. Le mouvement de la Terre**. Paris: Editions du Seuil, 1993. 347p.
- GARCÍA BARROS, S., MARTÍNEZ LOSADA, C. y MONDELO, M. - La Astronomía en la formación de profesores. - **Alambique**, v.10, 121-127, 1996.
- GIL, D. - Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación - **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11 n.2 197-212, 1993.
- GIL, D., GAVIDIA, V., VILCHES, A., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. - La educación científica ante las actuales transformaciones científico-tecnológicas - **Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales**, Valencia, n.12, 43-63, 1998.
- GILBERT, J.K. & BOULTER, C.J. Learning science through models and modeling. In B.J. Fraser y K. G. Tobin (Ed.). **International Handbook of Science Education**. London: Kluwer Academic:, 1998.Cap.14, 53-65.

- GOVERNMENT'S DEPARTMENT FOR EDUCATION. **Standards in Primary and Secondary Science**. Qualifications and Curriculum Authority. London, 2003 Disponible en <http://www.standards.dfes.gov.uk/schemes2/science/?view=get> Acceso en 15 nov 2003
- HANSON, N.R. (1978). **Constelaciones y conjeturas**. Madrid: Alianza Editorial, 1978, 310p.
- HARRISON , A.G. y TREAGUST, D.F.- A typology of school science models.- **International Journal of Science Education**, v.22, n.9, 1011-1026, 2000.
- HODSON, D. y HODSON, J. - From constructivism to social constructivism: a vygotskian perspective on teaching and learning science.- **School Science Review**, v.79, n,289, 33-44, 1998.
- KUHN, T.S. **La revolución copernicana**. Barcelona: Ariel, 1981. 373p
- LANCIANO N. **L'analisi delle concezioni e l'osservazione in classe: strumenti per la definizione degli obiettivi educativi e delle strategie pedagogiche per l'insegnamento dell'astronomia nella scuola elementare in Italia**. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Ginebra.1996
- LARCHER, C. y CHOMAT, A. - Modélisation de la matière en cycle central du collège. Construction de modèles par la production et la discussion de dessins, en reference à des observations communes.- **Bulletin de la Union de Physiciens** , v. 94, 1341-1356. 2000.
- LIGHTMAN, J. y SADLER, P. - Teacher predictions versus actual students' gains. - **The Physics Teacher**, marzo, 162-167., 1993
- LIJNSE, P.L. - "Developmental Research" as a way to an empirically based "Didactical Structure" of Science. - **Science Education**, vol. 79, n.2, 189-199, 1995
- MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B. **Materials didàctics per a l'ensenyament de l'Astronomia**. Valencia: Nau Llibres., 1998, 145p
- MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B. Y GIL D. *La Universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje como investigación orientada*, en Pozo y Monereo (Ed) **La universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para la autonomía**. Madrid: Síntesis.2003. Cap.15, 231-244.
- MARTÍNEZ SEBASTIÀ B. et al. **Curso web : Observaciones y modelos en astronomía**. 2º premio de materiales multimedia del Ministerio Educación y Ciencia, 2003
Disponible en <http://www.cnice.mecd.es/eos/MaterialesEducativos/mem2003/astronomia/>
Acceso en 20 de abril 2004
- MATHEWSON, J.A. - Visual-spatial thinking: an aspect of science overlooked by educators.- **Science Education**, n.83, 33-54, 1999
- MATTHEWS, M.R. - Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. -**Enseñanza de las Ciencias**, vol. 12, n. 2, 255-277, 1994
- MEC (Ministerio Educación y Ciencia) **Enseñanzas comunes de la Educación Secundaria Obligatoria**. Madrid 2003
Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2003-07-03/pdfs/A25683-25743.pdf>
Acceso en 15 nov.2003

Bernat Martínez Sebastià

- MILLAR, R. - Constructive criticism.- **International Journal of Science Education**, vol. 11, n.5, 587-596, 1989
- MILLAR, R. y OSBORNE, J. **Beyond 2000: Science Education for the future**. Kings College, London,1998. Disponible en <http://www.kcl.ac.uk/depsta/education/science.html> Acceso en 15 nov.2003
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). **National Science Education Standards**. Washington, DC, National Academy Press, 1996. Disponible en <http://books.nap.edu/html/nses/html> Acceso en 15 nov.2003
- NAVARRETE, A. - Una experiencia de aprendizaje sobre los movimientos relativos del sistema “Sol-Tierra-Luna” en el contexto de la formación inicial de maestros. - **Investigación en la Escuela**, n.35, 5-20, 1998
- NEWTON, P., DRIVER, R., OSBORNE, J. - The place of argumentation in the pedagogy of school science. - **International Journal of Science Education**, vol. 21, n.5, 553-576, 2000
- NUSSBAUM, J. - Children’s conceptions of the earth as a cosmic body: A cross-age study, - **Science Education**, vol 63,(1) 83-93, 1979
- PARKER, J. y HEYWOOD, D. - The earth and beyond: developing primary teachers’ understanding of basic astronomical events. - **International Journal of Science Education**. vol. 20, n.3, 503-520, 1998
- PÉREZ SEDEÑO, E. **El rumor de las estrellas. Teoría y experiencia en la astronomía griega**. Madrid: Siglo XXI, 1986, 223p.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. **Enseñar y aprender ciencias**. Madrid: Morata, 1998. 328p.
- SCHOON, K.J. - Students’ alternative conceptions of Earth and Space.- **Journal of Geological Education**, v. 40, 209-214, 1992.
- SCOTT, P.H. y DRIVER, R.H. *Learning about science teaching: perspectives from an action research project*. In B.J. Fraser y K.G. Tobin (Edit) **International Handbook of Science Education**. London: Kluwer Academic, 1998. Cap.15, p.67-80. 1998
- SHARP, J.G., - Children’s astronomical beliefs: a preliminary study of year 6 children in south-west England.- **International Journal of Science Education**, vol. 18, n. 6, 685-712., 1996
- SNEIDER, C. y OHADI, M. - Unraveling students’ misconceptions about the Earth’s shape and gravity. - **Science Education**, n.82, 265-284, 1998
- SUMMERS, M y MANT, J. - A survey of British primary school teachers’ understanding of the Earth’s place in the universe. - **Educational Research** , vol. 37, n.1, 3-19, 1995
- VOSNIADOU, S. Y BREWER, W.F. - Mental models of the earth: An study of conceptual change in childhood. - **Cognitive Psychology**, n. 24, 535-585, 1992
- VOSNIADOU, S. Y BREWER, W.F. - Mental models of the day/night cycle.- **Cognitive Science**, n. 18, 123-183, 1994
- VYGOTSKI, L. S. **El desarrollo de los procesos psicológicos superiores**. Madrid: Grijalbo., 1979. 297p.