

LA ENSEÑANZA DEL SISTEMA SOL-TIERRA DESDE LA PERSPECTIVA DE LAS IDEAS PREVIAS

Sun-Earth system teaching from misconceptions prospect

Joan Bach (*, **) y Joan Franch (**)

RESUMEN:

En este artículo se presentan los resultados obtenidos de la exploración de las ideas alternativas de los futuros maestros y las actividades diseñadas para producir un cambio conceptual. Se considera que algunas de las estrategias de enseñanza que se proponen podrían adaptarse a otros niveles educativos, tanto en la educación primaria como en la enseñanza secundaria obligatoria, para ayudar a impartir el modelo Sol-Tierra vigente e incorporarlo a la cultura científica de los ciudadanos.

ABSTRACT:

Results of research about a conceptual change are showed in this paper. It is explained alternative ideas of teacher's students and activities thought to do this change. Some of them would be adapted to different educative levels, from primary school to secondary school. These strategies of instruction would help to impart actual Sun-Earth system and to add it to society scientific culture.

Palabras clave: sistema Sol-Tierra, ideas alternativas, estrategias de enseñanza.

Keywords: Sun-Earth system, misconceptions, strategies of instruction.

INTRODUCCIÓN

Numerosas investigaciones han puesto de relieve que algunos temas de ciencias pese a enseñarse en las escuelas desde la etapa de primaria y posteriormente en la enseñanza secundaria obligatoria (ESO) no llegan a formar parte de la cultura científica de los alumnos cuando finalizan esta enseñanza obligatoria e incluso al ingresar en la universidad. Este es el caso del tema elegido para este trabajo, se trata del conocimiento básico del sistema Sol-Tierra, es decir, del conocimiento de un modelo de este sistema que permita responder correctamente al conjunto de preguntas que podemos hacernos relativas al ¿por qué de las estaciones y sus consecuencias?

Este tema forma parte del programa de una asignatura obligatoria de ciencias (Temas básicos de ciencias), de 40 horas que se imparte en el primer curso a los futuros profesores de primaria e infantil en la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Al iniciar esta asignatura en el curso 1995-96, nos propusimos conocer las ideas de los estudiantes, para ello se utilizó el cuestionario propuesto por De Manuel (1995), que se había experimentado tanto en alumnos de primaria y secundaria como de magisterio. Los resultados obtenidos reflejaron que un porcentaje muy elevado de los alumnos tenían representaciones propias del modelo Sol-Tierra que no correspondían al

modelo aceptado actualmente. Esta situación de partida nos llevó a plantearnos unas actividades a realizar como estrategia para reestructurar y cambiar las ideas alternativas, en el marco del paradigma constructivista, tal como han planteado diversos autores (Posner et al. 1982, Osborne y Witrock 1993, Pozo 1989).

El objetivo de esta comunicación es presentar los resultados obtenidos de los cuestionarios de ideas previas de los alumnos de magisterio y, como consecuencia de ellas, las actividades diseñadas para producir el cambio de modelo. Además se considera que algunas de las actividades que se proponen puedan adaptarse a otros niveles educativos, tanto en la educación primaria como en la enseñanza secundaria obligatoria, para ayudar a impartir el modelo Sol-Tierra vigente e incorporarlo a la cultura científica de los ciudadanos.

IDEAS PREVIAS DE LOS ALUMNOS

Se han realizado numerosas investigaciones para conocer las concepciones de los alumnos asociadas al modelo Sol-Tierra: Nussbaum y Novack (1976), Klein (1982), Giordan y de Vecchi (1987), Jones, Linch y Reesinch (1987), Schoon (1992), Camino (1995), De Manuel (1995), Albanese et al. (1997), Martínez Sebastià et al. (2001). La mayoría de ellas a partir de la realización de cuestionarios y entrevistas a niños de edades entre

(*) Dpt. de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. E-mail: joan.bach@uab.es

(**) Facultat de Ciències de l'Educació. Universitat Autònoma de Barcelona.

7 y 12 años y, en menor cuantía a estudiantes universitarios, maestros y adultos en general.

Los resultados obtenidos reflejan la presencia de distintas representaciones de este modelo Sol-Tierra, de acuerdo con la idea de que para algunos de los conceptos científicos sobre fenómenos y procesos naturales tenemos nuestras propias representaciones, *teorías personales* (Claxton, 1984) que configuran una *ciencia intuitiva* (Osborne y Freyberg, 1985) que da respuestas a las preguntas formuladas. Estas representaciones, a menudo, no coinciden con los conceptos científicos vigentes y pueden tener distintos orígenes (Pozo et al., 1991).

La detección de las ideas previas en los futuros maestros de la UAB se llevo a cabo a partir de utilizar el cuestionario diseñado por De Manuel (1995) con algunas pequeñas modificaciones (Fig. 1). La pregunta nº 1 presenta tres formas de la órbita terrestre, dos elípticas y una circular. Las dos elípticas se diferencian por tener la del dibujo A el Sol en un foco de la elipse, mientras el B lo tiene en el centro. La pregunta nº 2 consiste en dar una explicación teórica del por qué de las estaciones, a partir de una formulación que parte de observaciones cercanas al sujeto (verano / invierno, calor / frío). Por último la pregunta nº 3 plantea una situación problema en la que simultáneamente tenemos en la Tierra verano en un hemisferio e invierno en el otro.

Este cuestionario se pasó por primera vez en el curso 1995-96 a 89 alumnos, cuando se inició la experiencia, pero se ha ido realizando sin interrupciones en los cursos siguientes, de manera que hasta la actualidad disponemos de los resultados de 9 cursos académicos, con un promedio de unos 81 alumnos por curso y un total de alumnos encuestados de 732.

En la tabla nº I, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los cursos académicos y además se han calculado los porcentajes para el "total" de los alumnos encuestados.

En la **primera pregunta** se puede observar (tabla I) como prácticamente el total de los alumnos opta por una *órbita elíptica* (opciones A y B), lo que atribuimos a las enseñanzas previas recibidas en las que se resalta la forma elíptica de las órbitas de los planetas y se presentan dibujos de órbitas elípticas muy excéntricas para ilustrar la órbita terrestre. De hecho el cuestionario utilizado se inspiró en los dibujos que aparecen en los libros de texto para presentar el movimiento de traslación de la Tierra. Respecto a la situación del Sol dentro de la órbita, más del 80% eligen correctamente el dibujo A. En los nueve años evaluados el porcentaje de respuestas correctas ha oscilado entre un 68% y un 93%, sin ninguna tendencia remarcable. Así pues, la instrucción previa al ingreso a la universidad consigue que la mayoría del alumnado tenga un modelo de órbita terrestre de acuerdo a los conocimientos actuales.

En la **segunda pregunta**, de manera abrumadora, los alumnos postulan que la respuesta al por qué de las estaciones está en la *variación de la distancia que separa el Sol y la Tierra*, de manera que cuando está más cerca tenemos verano y cuando se encuentra más alejada, invierno (Tabla I). Esta concepción ha sido detectada por todos los autores que han investigado sobre esta temática. Por ejemplo, Schoon (1992) detectó esta concepción en un porcentaje de un 77 %, en más de 1200 estudiantes de diversas edades; De Manuel (1995) halló un porcentaje superior al 60%, en un total de 904 encuestados. Nuestros

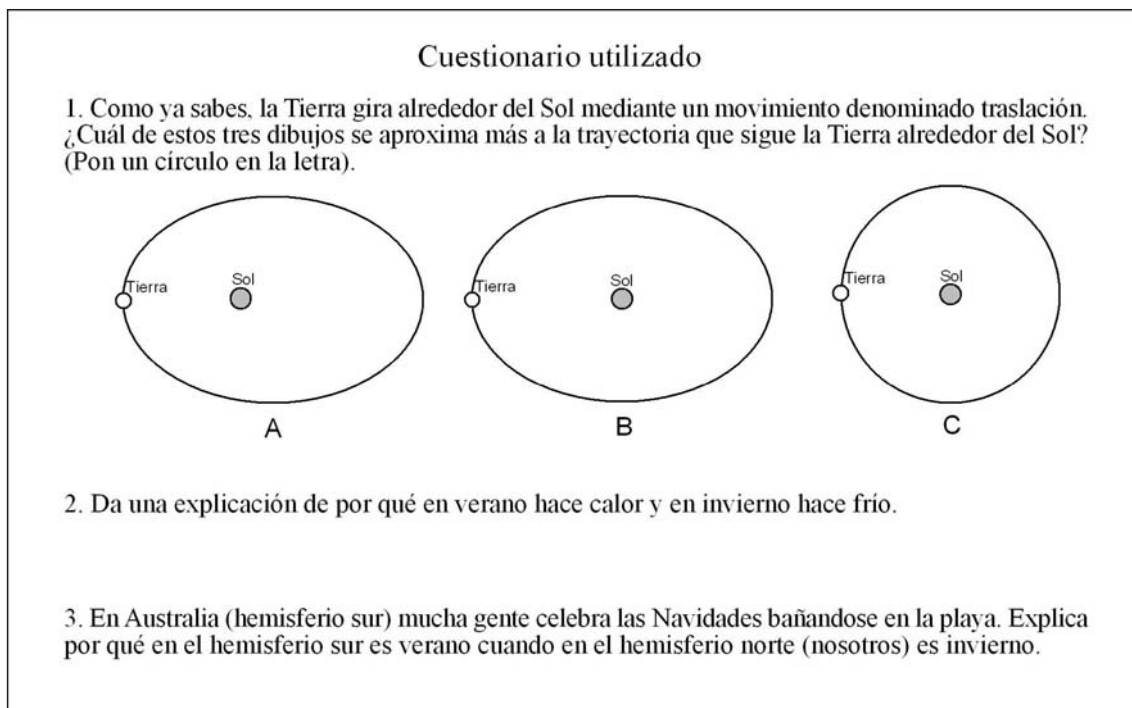


Fig. 1. Cuestionario utilizado, modificado de De Manuel (1995).

Curso	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	Total
Pregunta nº 1	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
A	93	87	68	76	83	71	95	80	69	81
B	7	13	32	19	15	29	5	20	31	18
C	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
No responden	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Total alumnos encuestados	89	86	75	85	78	73	91	80	75	732

Curso	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	Total
Pregunta nº 2	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Resp. aceptable	9	13	12	18	9	14	4	10	17	12
Distancia de la Tierra al Sol	87	77	77	67	76	73	78	74	71	76
Distancia e inclinación tierra	1	3	4	1	6	1	7	3	1	3
Otras	3	7	7	14	9	12	12	14	0	9
Total alumnos encuestados	89	86	75	85	78	73	91	80	75	732

Curso	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	Total
Pregunta nº 3	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Resp. aceptable	22	23	17	22	19	33	12	20	25	21
Distancia de la Tierra al Sol	19	16	25	36	29	38	27	10	4	23
Distancia e inclinación tierra	9	9	8	0	1	0	10	10	16	7
Rotación terrestre	30	31	28	24	32	14	27	43	24	28
Rayos solares más intensos según hemisferio	12	10	12	7	10	5	9	4	19	10
Otras	2	7	1	5	1	8	1	13	1	4
No responden	4	6	8	6	6	1	13	1	11	6
Total alumnos encuestados	89	86	75	85	78	73	91	80	75	732

Tabla I. Resultados, en porcentaje, obtenidos en la aplicación del cuestionario, para cada una de las preguntas. Para las preguntas abiertas 2 y 3, se han agrupado las respuestas obtenidas en unas categorías asociadas a unas concepciones determinadas. Se entiende por respuesta aceptable aquellas que utilizan la inclinación del eje terrestre y el ángulo de incidencia de los rayos solares para justificar las diferencias.

resultados reflejan que un total de un 76% de los 732 estudiantes de magisterio tienen esta concepción y que a lo largo de los 9 años este porcentaje ha variado relativamente poco, entre un 67% y un 87%.

Si tenemos en cuenta que la órbita terrestre es elíptica es evidente que la Tierra no está siempre a la misma distancia del Sol, por ello, interpretar que en verano hace calor por estar más próximos al Sol y en invierno frío por estar más alejados de él, es una concepción espontánea analógica (Pozo et al. 1991) y es una representación que nace del sentido común y de la lógica, muy consistente con independencia de la edad (De Manuel, 1995).

Si relacionamos en nuestro cuestionario la respuesta a la pregunta 2 con la pregunta 1, queda claro que todos los alumnos que responden que el factor determinante es la variación de la distancia Tierra-Sol, tienen la órbita elíptica como modelo y en la mayoría de casos, además, con el Sol situado en uno de sus focos. Esta relación permite ver que aunque los alumnos tengan un modelo de órbita terrestre correcto no es suficiente para entender el por qué de las estaciones e incluso el uso de dibujos que representan órbitas muy excéntricas, para reforzar este concepto, interpretamos que puede ser perjudicial para entender que la distancia no es el factor determinante.

Si observamos (tabla I) el porcentaje de *respuestas aceptables*, es decir, aquellas que utilizan la inclinación del eje terrestre y el ángulo de incidencia de los rayos solares para justificar las diferencias verano-invierno, encontramos un total de un 12% para el conjunto de encuestados y un valor máximo de un 18% en el curso 1998-99. Estos valores se consideran extremadamente bajos al referirse a alumnos de primer curso de universidad, aunque en su mayor parte no procedan de bachilleratos de ciencias. También hemos diferenciado aquellas respuestas que mezclan el concepto de la distancia con la inclinación del eje terrestre, que en esta pregunta nº 2 corresponden solamente a un 3% de promedio.

Así pues, las respuestas obtenidas a la pregunta 2 indican, a pesar de haberse tratado este tema en la enseñanza primaria y, sobre todo, en la ESO, la concepción mayoritaria (más de un 75%) corresponde a la variación de la distancia Tierra-Sol y que solamente alrededor de un 12% tiene un concepto correspondiente al modelo aceptado.

En la **tercera pregunta**, que pide a los alumnos que apliquen el modelo conceptual a una situación problema, los resultados son muy variados indicando que la respuesta a esta pregunta obliga a cuestionarse el modelo simplista utilizado en la pregunta 2. La concepción de la *variación de la distancia Tierra-Sol*, no es suficiente para explicar como en la misma posición respecto al Sol, un hemisferio está en verano y el otro en invierno. A pesar de ello, un 23% de promedio de los encuestados mantienen esta concepción para intentar explicar esta situación (tabla I), aunque pueden observarse grandes variaciones entre los distintos cursos evaluados, entre un 4% a un 38%. Un 7% de promedio mezcla la *distancia con la inclinación del eje terrestre* como en la pregunta anterior.

La respuesta mayoritaria en este caso está relacionada con el concepto de *rotación terrestre*, corresponde a un 28% de promedio, pero llega a alcanzar el 43%. De hecho, utilizan la rotación para continuar refiriéndose a la distancia. Así, una respuesta tipo de esta concepción es: "Porque al girar la Tierra sobre ella misma en diferentes partes de ella, dependiendo de su situación o hemisferio, tendrán estaciones distintas, por su proximidad o lejanía del Sol."

Hemos considerado otro grupo de respuestas agrupadas en la categoría: *rayos solares más intensos según hemisferio*, que corresponde a un 10% de promedio de los encuestados, que consideran que un hemisferio recibe más radiación que el otro pero no dan ningún tipo de razonamiento, por ejemplo: "el Sol no da de la misma manera a l'hemisferio norte que al sur".

Respecto a las respuestas aceptables, para esta pregunta se ha contabilizado un 21% de promedio, con variaciones entre un 19% y un 33%. Es sorprendente observar como estos porcentajes son superiores a los observados en la pregunta 2 (solamente un 12% de promedio).

Puede deberse a la tipología de la pregunta, así, la pregunta 2 es más simple, sólo plantea la existencia de estaciones, mientras que la pregunta 3, añade un grado más de dificultad, además de las estaciones debe explicarse la simultaneidad de verano e invierno al mismo tiempo. Por ello, en la pregunta 2 el modelo de la distancia parece suficiente, pero no lo es en la tercera pregunta, lo que obliga a buscar otra solución. Esta situación indicaría que según la pregunta las respuestas de los encuestados son más o menos elaboradas.

En resumen, los resultados obtenidos reflejan que los estudiantes de primer curso de magisterio tienen por término medio: un modelo de órbita elíptica con el Sol situado en uno de sus focos; recurren a la concepción de la *variación de la distancia Tierra-Sol*, para explicar la existencia de estaciones; y, ante situaciones más complejas, combinan la concepción anterior con otras, rotación terrestre, inclinación del eje de la Tierra. En los nueve cursos de aplicación del cuestionario se ha obtenido un promedio de un 12% de respuestas aceptables en la pregunta nº 2 y un 21% en la pregunta nº 3. Así pues, los contenidos de este tema impartidos en la enseñanza primaria y la secundaria sólo han conseguido que los alumnos tengan el modelo de órbita elíptica, pero no que sepan utilizar la inclinación del eje terrestre y el ángulo de incidencia de los rayos solares para justificar las diferencias verano-invierno

ACTIVIDADES DISEÑADAS

Ante la situación reflejada a partir de las ideas previas, la estrategia seguida abordó distintos aspectos:

- Presentar situaciones que permitan evidenciar que la concepción dominante: *la variación de la distancia Tierra-Sol* no es válida para explicar las observaciones que podemos realizar.
- Exponer los elementos teóricos necesarios del sistema Sol-Tierra para poder realizar modelizaciones.
- Trabajar modelos a escala reducida que refuercen los conceptos de inclinación del eje terrestre y ángulo de incidencia de los rayos solares que, como se ha comprobado, son más difíciles de fijar.
- Fomentar las observaciones de la trayectoria aparente del Sol y relacionarlas con las previsiones que los modelos nos permiten realizar
- Resolver problemas con los modelos a escala reducida que permitan relacionar los resultados obtenidos con observaciones realizables en nuestra vida cotidiana, número de horas de luz en una situación de solsticio, hora de salida y puesta del Sol, altura del Sol a mediodía.

A continuación de concretan algunas de las actividades que se realizan.

1. Análisis de las respuestas al cuestionario

La evaluación de los respuestas con los estudiantes es el primer paso para poner de relieve el punto de partida. Con relación a la primera pregunta, la forma de la órbita terrestre, a pesar de que prácticamente todos la consideran elíptica, se matiza su excentricidad, aportando los medidas extremas en la situación del *perihelio* y del *afelio*. Se destaca que los dibujos que aparecen en los libros suelen reflejar órbitas mucho más excéntricas que la conocida actualmente.

En el análisis a la segunda pregunta se busca la confrontación con el modelo expresado mayoritariamente (*la variación de la distancia Tierra-Sol*). Se cuestiona como podemos tener verano en el hemisferio norte si es cuando la Tierra se encuentra en la posición de *afelio* (4 de julio); o invierno si entonces se encuentra en la posición de *perihelio* (3 de enero). Se recuerda además que la órbita es poco excéntrica y, por tanto en realidad las distancias entre perihelio y afelio no son tan diferentes (fig. 2). De esta discusión se deduce que el modelo que la mayoría ha argumentado no es valido para justificar las estaciones y, por tanto que tenemos que encontrar otro!

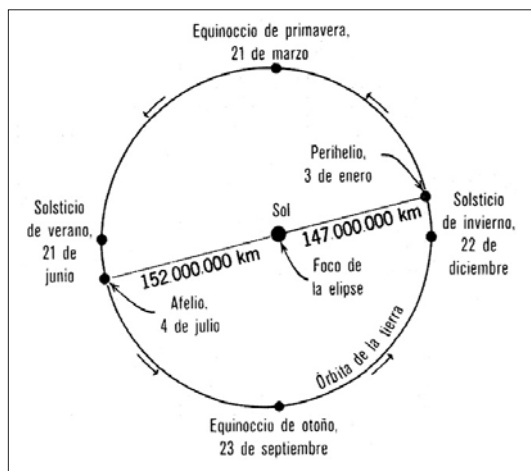


Fig. 2. Tamaño y características de la órbita terrestre, modificado de Sthraler (1975).

En la tercera pregunta se resalta que una parte de los encuestados abandona la concepción de la *distancia* para buscar otras concepciones que permitan explicar la aparente paradoja de que en una cierta distancia Tierra-Sol, un hemisferio se encuentra en una estación y el otro en otra distinta. La mayor disparidad de respuestas con relación a la segunda pregunta, refleja que ellos mismos se dan cuenta que su concepción no es valida.

Así pues, en el análisis de estas dos últimas preguntas se pone de manifiesto que hay que buscar otro modelo, que corresponde al que algunas de las respuestas consideradas como aceptables proponen.

2. Elementos teóricos

Para empezar a construir el nuevo modelo se exponen los conceptos claves que definen como viaja la Tierra en su órbita alrededor del Sol y como recibe la radiación solar, a modo de ejemplo:

-la inclinación constante del eje terrestre respecto al plano de la eclíptica;

-el eje apunta siempre al mismo punto del espacio (sin tener en cuenta la precesión);

-a lo largo del movimiento de traslación, debido a la inclinación del eje, se dan situaciones distintas de la relación Tierra-radiación solar, posiciones de solsticio y equinoccio;

-la radiación del Sol llega a la Tierra en forma de haces de rayos paralelos entre si;

-la forma curvada de la superficie terrestre comporta distintos ángulos de incidencia, cuanto más perpendiculares mayor es la energía recibida por unidad de superficie.

A partir de la exposición principalmente gráfica, en dos dimensiones, de esos conceptos se propone la su visualización en tres dimensiones a partir de la confección de modelos a escala reducida.

3. Modelo global del sistema Sol-Tierra a escala reducida

Para reforzar el cambio de concepción proponemos un modelo que refleje la inclinación del eje terrestre a lo largo de la órbita y en cada posición su relación con la radiación solar, reproduciendo, en tres dimensiones, el dibujo clásico de las posiciones de solsticios y equinoccios.

Se organizan los alumnos en grupos de cuatro y se les facilita un guión del trabajo a realizar y el material siguiente (fig. 3): 4 bolas de porexpán de 6 cm de diámetro (del tamaño aproximado de una pelota de tenis), 4 varillas de hierro de 1 mm de diámetro y 30 cm de largo, 4 recortes de cartulina de color negro de 10x10 cm, una placa de porexpán de 30x30 cm y 3 cm de grosor y un papel de tamaño

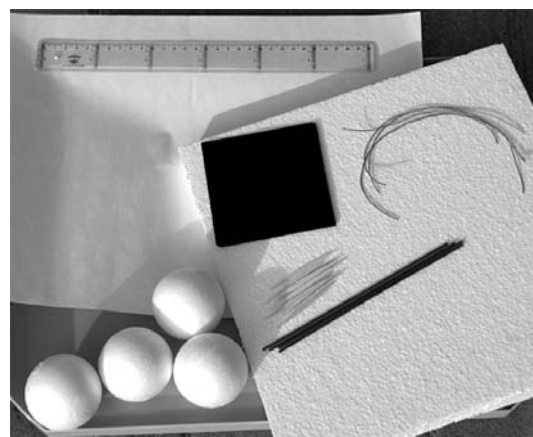


Fig. 3. Material necesario para la realización del modelo global a escala reducida.

DIN-A3. Además cada grupo tiene acceso al material común del laboratorio: reglas, transportador de ángulos, cordel, tijeras, compases, calculadoras, cinta adhesiva, palillos planos y redondos, etc.

Siguiendo el guión, en primer lugar deben conseguir que las bolas de porexpán sean pequeñas Tierra, para ello se dibujan a escala los principales paralelos que tienen significado en la relación Sol-Tierra: ecuador, trópicos de cáncer y de capricornio, círculos polares ártico y antártico, los polos norte y sur, y además el paralelo que corresponde a la latitud donde estamos, en nuestro caso $41^{\circ} 30' N$ (fig. 4). El trabajo a escala se realiza utilizando un cordel fino para realizar las medidas de longitud del ecuador de la bola y posteriormente calcular, en función de la distancia angular, la distancia de los demás paralelos respecto al ecuador. Finalmente, las varillas se hincan con cuidado para atravesar la Tierra de un polo al otro (fig. 4).

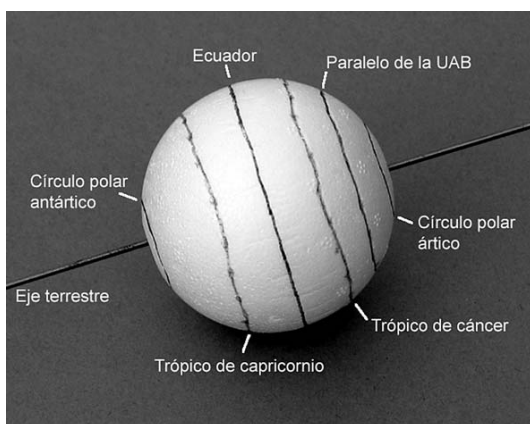


Fig. 4. Bola de porexpán con los paralelos principales dibujados y el eje hincado.

El siguiente paso es preparar las cartulinas negras que van a representar el límite del círculo de iluminación. Para ello, se realiza un agujero que sea ligeramente superior al círculo que corresponde a las bolas de porexpán utilizadas. Es necesario que las bolas puedan moverse libremente dentro del círculo realizado en la cartulina (fig. 5). Se confecciona el círculo con el compás utilizando una medida unos 2 mm superior al radio calculado de la bola de porexpán.

A partir de estos elementos se puede proceder al montaje del modelo. La placa de porexpán se recubre con el papel DIN-A3 para mejorar la posibilidad de dibujar sobre ella y además para poderlas reciclar si es necesario. Sobre ella se dibuja la órbita terrestre, a esta escala prácticamente circular. Entendiendo que el Sol está más o menos en la parte central del interior de la órbita se disponen los círculos de iluminación perpendiculares a la posición del Sol sobre la órbita dibujada, utilizando un par de palillos planos para cada cartulina sujetos con cinta adhesiva, de manera que los palillos pueden hincarse en la placa de porexpán (fig. 6).

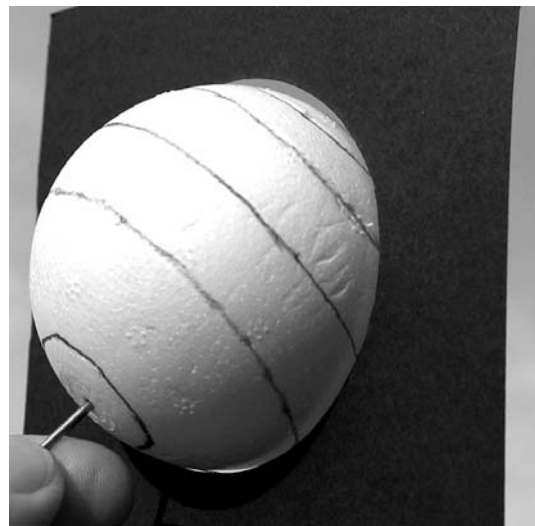


Fig. 5. El agujero debe permitir que la bola de porexpán pueda moverse libremente dentro de ella.

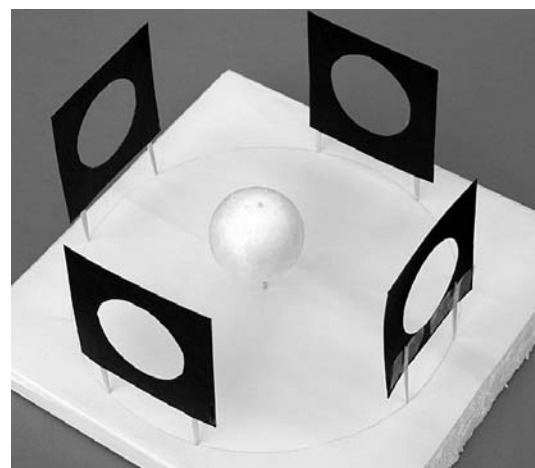


Fig. 6. Disposición de los círculos de iluminación (las cartulinas) perpendiculares a la posición del Sol sobre la órbita dibujada.

En este momento sólo falta poner dentro de cada círculo de cartulina cada una de las tierras a escala, teniendo en cuenta que deben mantener los ejes inclinados, unos $66,5^{\circ}$ respecto a la eclíptica, representada por la placa de porexpán que actúa como base, y disponerse paralelos entre sí. Las pequeñas tierras se fijan a partir de la varilla metálica que hace de eje. Cuando se ha fijado la posición de una de ellas, quedan definidas las posiciones de las demás (fig. 7). La delimitación de las posiciones de solsticio y equinoccio quedan además definidas a partir de los paralelos dibujados en las bolas de porexpán. Así, en las posiciones de solsticio el círculo de iluminación es tangente a los círculos polares, mientras en los equinoccios lo es en los polos y por ello paralelo al eje terrestre (fig. 7).

En cada situación las cartulinas que actúan de círculos de iluminación permiten visualizar, sin necesidad de utilizar una fuente luminosa, la mitad de

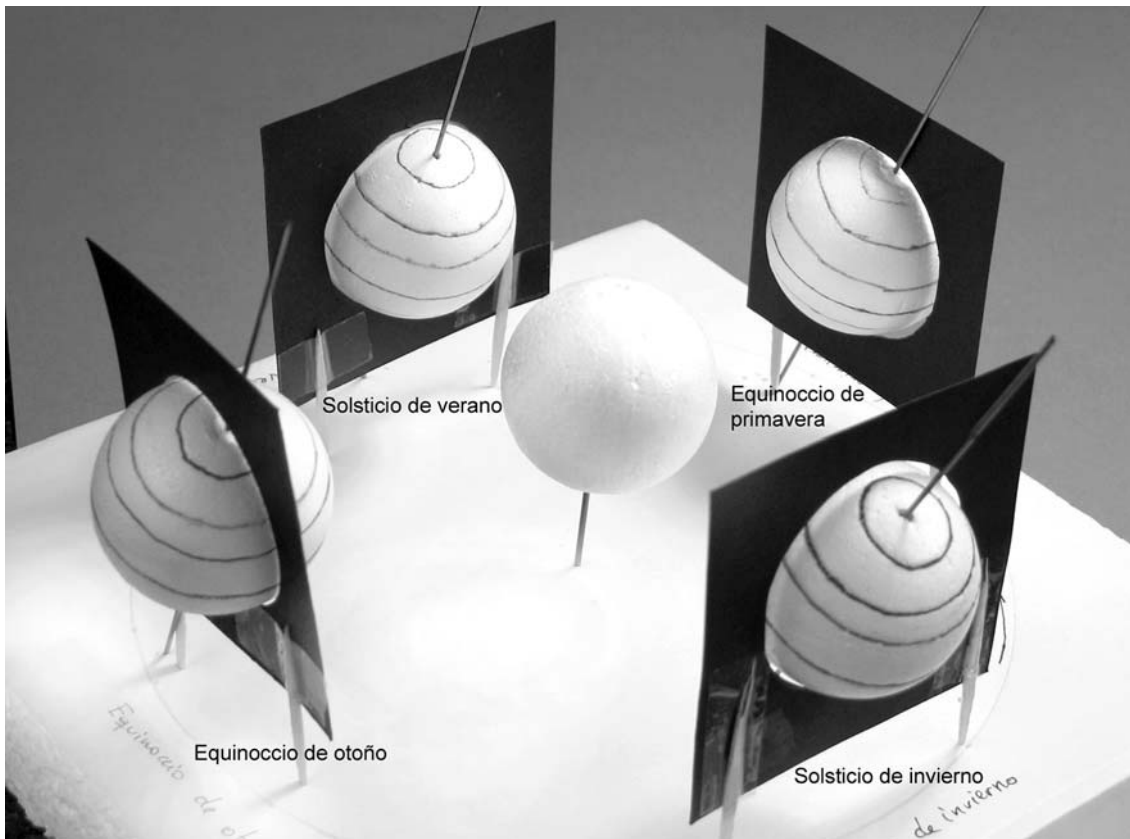


Fig. 7. Montaje del modelo global del sistema Sol-Tierra, a escala reducida.

la Tierra que queda iluminada por el Sol y la que queda en la parte oscura. Además el movimiento independiente de la Tierra, podemos hacerla girar respecto a su eje, con relación al círculo de iluminación (cartulina), permite ver como un punto determinado de la Tierra va pasando de la zona iluminada u oscura.

Si además colocamos una fuente de luz en la parte central de la órbita se puede visualizar de manera más real cada situación.

El modelo se completa indicando cada una de las situaciones que posición es: solsticio de verano o de invierno, o equinoccio de primavera u otoño; y la fecha que les corresponde. Se puede añadir el sentido de traslación de la Tierra en la órbita y el de rotación en cada una de las bolas de porexpán. Es interesante que una vez este completo todo el modelo se observe cada posición las relaciones con los paralelos que definen los puntos de tangencia y perpendicularidad de los rayos solares.

Para mejorar la comprensión del modelo se pide que a cada una de las cuatro posiciones, considerándolas estáticas, dibujen (fig. 8): el meridiano mediodía y el medianoche; el punto de la Tierra donde los rayos solares son perpendiculares; el punto alba (A), el de la puesta (P), el del mediodía (M) y el de la medianoche (N).

Por último se formula un problema sencillo, que se puede resolver manipulando el modelo:

-Para la posición de solsticio de verano, en el paralelo donde nos encontramos ($41^{\circ} 30'N$) que habéis dibujado en cada Tierra, ¿cuál es el número de horas de luz (día) y el de horas de noche? ¿Cuál es la hora de salida del Sol y la de la puesta de este día? Lo mismo para la posición de solsticio de invierno y para los equinoccios.



Fig. 8. Ejemplo de situación de los puntos de salida, mediodía y puesta de Sol en una posición y paralelo determinado.

4. Observación de la trayectoria aparente del Sol

Para reforzar la nueva concepción del modelo Sol-Tierra se puede relacionar con observaciones que podemos realizar en nuestra vida cotidiana y poner de manifiesto su utilidad para interpretar y predecir estas observaciones.

Para ello utilizamos una observación clásica, descrita en muchos libros, se trata de la observación de la trayectoria aparente del Sol a lo largo de un día. Se propone a cada grupo de alumnos que realicen la siguiente actividades, en un día determinado:

-Medición (rumbo) del punto geográfico de salida y puesta del Sol, con la ayuda de una brújula y registro de la hora de cada acontecimiento. Los datos deben acompañarse de un croquis que refleje el relieve del punto donde se realiza la observación.

-Registro de la sombra de un gnomon a lo largo del día, en intervalos de 10 a 30 minutos y, sobre todo, en la franja horaria próxima al mediodía, durante unas 4 horas (de 11h a 15h). Se les suministra una placa de porexpán y una hoja de papel de tamaño DIN-A4, un palillo y una brújula. Deberán colocar la placa con el papel y el gnomon (palillo) orientado tal como indica la fig. 9. Para cada sombra marcarán su extremo sobre el papel e indicarán mediante un número cada una de las sombras y la hora que le corresponde.

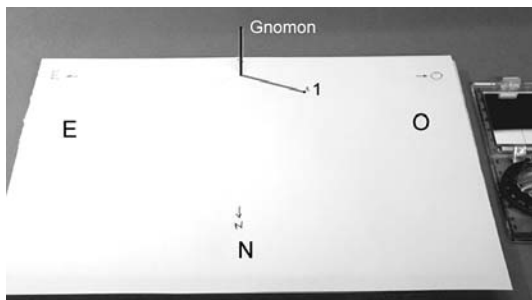


Fig. 9. Ejemplo de cómo colocar la placa de porexpán y el gnomon para la observación de las sombras a lo largo del día.

Conociendo la longitud del gnomon y la de la sombra, se puede calcular para cada observación la altura del Sol respecto al horizonte y representar gráficamente las alturas del Sol respecto a las horas del día, añadiendo además la observación realizada de la hora de salida y puesta. Esta gráfica permite tener una visualización de la trayectoria aparente del Sol, a partir de la observación realizada.

Esta actividad logra que los alumnos entiendan que la trayectoria del Sol no es siempre igual, sino que varía diariamente en función de la posición en la que se encuentra la Tierra en la órbita, de acuerdo con el modelo visto en la actividad anterior. Además, la medida de los puntos geográficos de salida y puesta, permite introducir que además de cambiar la altura de la trayectoria del Sol, también se dan cambios en los puntos de salida y puesta.

Para concretar este concepto se confecciona una gráfica que relaciona las alturas del Sol con la posi-

ción geográfica en la que se encuentra, a partir de las observaciones de las sombras. El punto de partida es conocer la situación del punto donde se da la sombra de menor longitud, que corresponde a la posición del Sol en el sur (180°), de manera que la sombra indica la dirección norte. A partir de esta posición podemos situar un transportador de ángulos, con su centro en la posición que ocupaba el gnomon e ir midiendo los ángulos respecto a la posición sur-norte.

5. La trayectoria aparente del Sol en el globo terráqueo

La utilización de los globos terráqueos que podemos comprar son de gran utilidad para realizar actividades respecto a este tema, ya que el globo está inclinado, respecto al soporte, el ángulo correspondiente a la inclinación del eje terrestre respecto a la eclíptica, es decir, $66^\circ 33'$. Esta disposición permite poder simular respecto a una fuente luminosa las distintas posiciones de solsticios y equinoccios. Incluso sin necesidad de una fuente luminosa se pueden simular las distintas posiciones respecto a la mirada del observador. En este sentido fomentamos que cada grupo de alumnos se familiarice con el globo terráqueo y sepan distinguir cada una de las posiciones respecto a su mirada, que representa la dirección del Sol.

A continuación realizamos una actividad que permite simular la trayectoria aparente del Sol para una posición determinada sobre la Tierra y para una situación de solsticio, equinoccio o, incluso, situaciones intermedias. Para ello proporcionamos a cada grupo de alumnos, además del globo terráqueo, un círculo de papel (graduado de 0° a 360°), un pequeño transportador de ángulos de 0° a 180° y un hilo o cordel fino de aproximadamente un metro de longitud.

El círculo de papel representa el plano del horizonte que podemos pegar en cualquier punto de la Tierra mediante una cinta adhesiva de doble cara. Previamente se fija el hilo al centro del círculo, a través de un pequeño agujero, aprovechando la cinta adhesiva. El hilo simboliza el rayo de Sol que llega a nuestro plano del horizonte, de manera que deberemos mantenerlo siempre paralelo a la eclíptica, es decir, a la superficie de la mesa donde se encuentra el globo terráqueo (fig. 10).

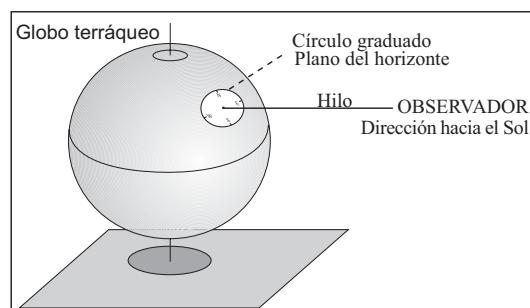


Fig. 10. Disposición del globo terráqueo, el plano del horizonte y la dirección del Sol, para la observación de la trayectoria aparente del Sol.

Para empezar proponemos que sitúen el plano del horizonte aproximadamente en la latitud donde nos encontramos (generalmente utilizamos Barcelona ya que es la que aparece en el globo), de manera que el cero de la graduación coincida con la dirección norte del meridiano terrestre; y que orienten el globo en una posición concreta de solsticio o equinoccio (generalmente empezamos por la posición de solsticio de invierno, ya que es la época en la que estamos realizando este tema). Uno de los componentes del grupo sostiene el hilo paralelo a la mesa, mientras otro se encarga de hacer rotar a la Tierra y los demás de leer y medir los ángulos.

Se inicia la simulación de la trayectoria del Sol a partir del alba, momento en que el hilo es tangente al plano del horizonte y nos permite leer en el círculo el azimut de este punto (fig. 11). Al girar suavemente la Tierra se observa como se despega el hilo y aumenta progresivamente el ángulo respecto al plano, hasta alcanzar el valor máximo en el punto correspondiente al mediodía (fig. 12). En este momento, si se detiene el movimiento, podemos medir con el transportador de ángulos, de manera aproximada, la altura del Sol.



Fig. 11. Ejemplo medición del azimut de la salida del Sol en la posición de solsticio de invierno, para la latitud de Barcelona.

A continuación podemos volver a mover la Tierra, mientras disminuye progresivamente el ángulo, hasta ser tangente al círculo, momento de la puesta del Sol, en el que leemos en el círculo su azimut (fig. 13).



Fig. 12. Ejemplo medición de la altura del Sol a mediodía en la posición de solsticio de invierno, para la latitud de Barcelona.

Esta simulación se repite para las posiciones de solsticio de verano y para los equinoccios, rellenando la tabla II, donde se podrán observar y comparar los puntos clave (azimut de la salida y de la puesta, y altura del Sol a mediodía) de las trayectorias aparentes del Sol en cada una de las posiciones.

Los valores de altura del Sol obtenidos con la simulación son poco precisos, por ello se propone que se comparen con los que podemos obtener mediante un cálculo geométrico (altura teórica) basado en la declinación solar y la latitud del lugar (Strahler, 1975).



Fig. 13. Ejemplo medición del azimut de la puesta del Sol en la posición de solsticio de invierno, para la latitud de Barcelona.

Latitud elegida: ? Posición	Azimut salida del Sol	Altura del Sol a mediodía	Azimut puesta del Sol	Altura del Sol a mediodía teórica
Solsticio de invierno				
Solsticio de verano				
Equinoccio				

Tabla II. Ejemplo de tabla para la recogida de datos de la actividad de simulación de la trayectoria aparente del Sol con el globo terráqueo.

Una vez realizadas estas observaciones, se invita a cada grupo de alumnos que simulen la trayectoria del Sol en otras latitudes e incluso en posiciones intermedias entre las de solsticio y equinoccio.

Esta actividad observamos que es de gran utilidad para desarraigar la idea de que el Sol siempre sale por el este (90°) y se pone por el oeste (270°). Idea que sostienen una gran parte de los alumnos al inicio de este tema, constatada en cuestionarios que realizamos para explorar las ideas de los alumnos acerca de las observaciones de la trayectoria aparente del Sol. Permite además observar con claridad los cambios de altura del Sol entre el verano y el invierno en nuestra latitud.

También ayuda a los alumnos a mejorar su visión tridimensional de la trayectoria aparente del Sol y a darse cuenta de que “es aparente”, ya que en realidad el movimiento lo realiza la propia Tierra, ya que la dirección del hilo (dirección hacia el Sol) se mantienen constante siempre.

6. Actividades de evaluación

Las actividades diseñadas de evaluación pretenden poner en evidencia la comprensión del modelo tanto en los aspectos teóricos clave, como en los aspectos gráficos que han trabajado en las actividades de modelización.

En la fig. 14, se puede observar un ejemplo de ejercicio de evaluación donde se combina una parte gráfica y una de razonamiento de la concepción teórica.

Los resultados obtenidos en las pruebas de evaluación respecto a este tema indican que después de las actividades realizadas, sólo un 10% como máximo, de los alumnos mantienen la concepción de la *variación de la distancia Tierra-Sol* para explicar el ¿por qué de las estaciones?

CONCLUSIONES

La exploración de las ideas previas refleja que los estudiantes de primer curso de magisterio tienen por término medio: un modelo de órbita elíptica con el Sol situado en uno de sus focos; recurren a la concepción de la *variación de la distancia Tierra-Sol*, para explicar la existencia de estaciones; y, ante situaciones más complejas, combinan la concepción anterior con otras, rotación terrestre, inclinación del eje de la Tierra. Así pues, los contenidos de este tema impartidos en la enseñanza primaria y la secundaria sólo han conseguido que los alumnos tengan el modelo de órbita elíptica, pero no que sepan utilizar la inclinación del eje terrestre y el ángulo de incidencia de los rayos solares para justificar las diferencias verano-invierno.

Las estrategias diseñadas, en función de las ideas previas detectadas, fundamentadas en la confrontación con sus propias ideas y el uso de modelos y actividades que resaltan la inclinación del eje terrestre a lo largo de la órbita y en cada posición su relación con la radiación solar, consigue que menos de un 10% de los alumnos vuelvan a utilizar la concepción de la *variación de la distancia Tierra-Sol* para explicar el ¿por qué de las estaciones?

Ejercicio de evaluación

El diagrama adjunto representa una parte de la órbita terrestre vista desde un punto situado sobre el polo norte.

- Sombree la parte no iluminada del globo.
- Añada flechas a las líneas de puntos que indiquen la dirección de rotación y de traslación.
- Indique en los recuadros de la figura lo que corresponda: mediodía (M), medianoche (N), salida del sol (A), puesta del sol (P).
- ¿Que posición de solsticio o equinoccio representa el dibujo? ¿En que fecha tiene lugar? (anótelos en el recuadro).
- Explique brevemente el ¿por qué de la existencia de las estaciones?
- Explique las diferencias fundamentales entre el solsticio de invierno y el de verano para la situación de la UAB.

P - Polo norte
A - Círculo polar ártico

SOL

Fig. 14. Ejemplo de ejercicio de evaluación de la comprensión de la existencia de estaciones en el sistema Sol-Tierra.

Considerando el buen resultado obtenido con las actividades que se realizan, algunas de ellas podrían ser adaptadas a otros niveles educativos para ayudar a mejorar la enseñanza del modelo Sol-Tierra. Concretamente, *el modelo global a escala reducida* puede, por su sencillez adaptarse a la enseñanza primaria. Mientras, la observación de la *trayectoria aparente del Sol en el globo terráqueo* podría ser una actividad a utilizar en la ESO.

BIBLIOGRAFÍA

- Albanese, A., Danhoni Neves, M.C., Vicentini, M. (1997). 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*. 6, 573-590.
- Bach, J. y Franch, J. (2004). El sistema Sol-Tierra: ideas previas y estrategias de enseñanza. *Documentos del XIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*. Alicante, págs 17-26. ISBN.: 84-86980-08-9. España.
- Camino, N. (1995). 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*. 13(1), 81-96.
- Claxton, G. (1984). *Live and learn. An introduction to the psychology of growth and change in everyday life*. Harper & Row. Londres. (Trad. Cast. 1987, *Vivir y aprender*, Alianza. Madrid).
- De Manuel, J. (1995). ¿Por qué hay veranos e inviernos? Representaciones de estudiantes (12-18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias*. 13(2), 227-236.
- De Manuel, J. (1995). Dificultades en el aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. (3.2), 91-1001.
- Giordan, A. y De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir (des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques)*. Delachaux & Niestlé SA. París. (Trad. Cast. 1988, *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*, Diada editores. Sevilla).
- Jones, B.L., Linch, P.P. y Reesinch, C. (1987). Children's conceptions of the earth, sun and moon. *Inst. J. Sci. Educ.* 9(1), 43-53.
- Klein, C.A. (1982). Children's concepts of the Earth and Sun: a cross-cultural study. *Science Education*. 65(1). 95-107.
- 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, 213-214.
- Nussbaum, J. y Novack, J.D. (1976). An assesment of children's concepts of the Earth utilizing structures interviews. *Science Education*. 60(4). 535-550.
- Osborne, R. y Freyberg, P. (1985). *Learning in Science. The implications of Children's science*. Heinemann Publishers. (Trad. Cast., 1991, *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones en la ciencia de los alumnos*. Narcea ediciones. Madrid).
- Osborne, R. y Witrock, M. (1993). Learning science: a generative process. *Science Education*. 67, 591-599.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. y Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*. 66, 211-227.
- Pozo, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Morata. Madrid.
- Pozo, J.I., Sanz, A., Gómez Crespo, M.A. y Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*. 9, 83-94.
- Schoon, K.J. (1992). Students' alternative conceptions of Earth and Space. *Journal of Geological Education*. 40, 209-214.
- Strahler, A.N. (1975). *Geografía física*. Ediciones Omega. Barcelona. ■