

## ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA DEL SISTEMA SOL-TIERRA

### *Teaching strategies about the Sun-Earth system*

Joan Bach (\*, \*\*\*\*), Digna Couso (\*\*, \*\*\*\*) y Joan Franch (\*\*\*, \*\*\*\*)

#### RESUMEN

En este artículo se presentan las actividades diseñadas para promover un cambio conceptual con relación a las ideas previas de los alumnos de primer curso de magisterio en el aprendizaje del sistema Sol-Tierra. 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, con el objetivo de que se aprenda significativamente el modelo Sol-Tierra vigente e incorporarlo a la cultura científica de los ciudadanos.

#### ABSTRACT

In this paper we present teaching activities for pre-service primary school teachers, designed within a conceptual change learning framework on the topic of Earth-Sun system. Some of the teaching strategies proposed could be easily adapted to different educative levels, from primary school to secondary school. These teaching and learning strategies would be helpful for a meaningful learning of the Sun-Earth system for students, necessary for a scientific literate society.

**Palabras Clave:** Sistema Sol-Tierra, estrategias de enseñanza, modelos científicos.

**Keywords:** Sun-Earth system, teaching and learning strategies, scientific models.

#### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de un modelo del sistema Sol-Tierra que permita responder correctamente al conjunto de preguntas que podemos hacernos relativas al ¿por qué de las estaciones y sus consecuencias? es un ejemplo de que, pese a enseñarse en las escuelas desde la etapa de primaria y posteriormente en la enseñanza secundaria obligatoria (ESO), no llega a formar parte de la cultura científica de los alumnos cuando finalizan esta enseñanza obligatoria e incluso al ingresar en la universidad.

Los resultados de la exploración de las ideas previas de los estudiantes de magisterio (Bach y Franch, 2004), con un total de 732 alumnos encuestados, a lo largo de 9 cursos desde el 1995-96, reflejaron que un porcentaje muy elevado de los alumnos tenían representaciones propias del modelo Sol-Tierra que no correspondían al modelo aceptado actualmente. Concretamente, 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 como rotación terrestre o 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.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por otros autores, así el concepto de la *variación de la distancia Tierra-Sol*, para explicar la existencia de estaciones, también fue detectado por Schoon (1992) 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. Los resultados de Bach i Franch (2004) reflejan que un total de un 76% de los 732 estudiantes de magisterio tiene esta concepción y que a lo largo de los 9 años este porcentaje ha variado relativamente poco, entre un 67% y un 87%.

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,

(\*) Dept. de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, y GREDGEO (Grup de recerca en ensenyament i divulgació de la Geologia). E-mail: joan.bach@uab.es

(\*\*) Dept. de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, UAB y CRECIM (Centre de Recerca per l'Educació Científica i Matemàtica).

(\*\*\*) Dpt. de Biologia animal, Biologia vegetal i d'Ecologia, UAB.

(\*\*\*\*) Facultat de Ciències de l'Educació. UAB.



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).

Esta situación de partida nos llevó a plantearnos unas actividades a realizar como estrategia para ayudar a los alumnos a reestructurar sus 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 este artículo es presentar algunas de las actividades diseñadas para producir el cambio de modelo, en la 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). Además se considera que algunas de las actividades que se proponen pueden 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.

## MARCO DE REFERENCIA

El punto de partida de la propuesta que se realiza es la identificación de una gran persistencia de ideas alternativas arraigadas en los estudiantes después de muchos años de instrucción científica, correspondientes a: un modelo de la órbita de la Tierra alrededor del Sol exageradamente excéntrica, que atribuyen la diferencia entre verano e invierno a la variación de distancia entre el Sol y la Tierra. Esta concepción no es abandonada por los alumnos cuando se les enfrenta a situaciones “conflictivas” que la ponen a prueba, como la situación en la que conviven diferentes estaciones en diferentes hemisferios en la misma época del año, sino que coexisten con otras ideas poco desarrolladas como la inclinación de los rayos solares o la rotación terrestre. Según los resultados obtenidos en la exploración de ideas previas (Bach y Franch, 2004), sólo un promedio de un 21% de los estudiantes eran capaces de justificar su respuesta a la situación conflictiva presentada de manera adecuada, mencionando el papel de la inclinación del eje de rotación de la Tierra.

Para abordar esta problemática se plantean una serie de actividades destinadas a que los alumnos construyan un modelo del sistema Sol-Tierra científicamente adecuado, que les permita explicarse los fenómenos estacionales que conocen (cambio de estaciones, variación estacional en la duración del día y la altura del Sol, diferencias de estación en diferentes latitudes, etc.) y que puedan predecir otros fenómenos que quizás no habían identificado previamente (variación en la posición de salida y puesta del Sol, etc.).

En nuestra propuesta docente, no entendemos el papel de los modelos de la ciencia y del proceso de modelización como un proceso en el que a partir de las observaciones y datos experimentales, se construya en el aula el modelo científico adecuado. Es decir,

no pretendemos reconstruir en el aula la historia científica. Para nosotros, modelizar es un proceso mediante el cual se trabaja con los alumnos un modelo explicativo potente que podemos aplicar a diversas situaciones y que se corresponde con los resultados experimentales y de observaciones que queremos explicar (Couso et al. 2006). Los alumnos van construyendo su propia versión del modelo en etapas sucesivas, haciéndolo convivir y contrastándolo con sus ideas anteriores. El modelo les servirá para hacerse nuevas preguntas y predecir nuevas respuestas, es decir, como un “instrumento para pensar científicamente”.

De acuerdo con estos planteamientos la propuesta incide en trabajar la modelización como parte primordial de la actividad científica, ayudando a los alumnos a partir de diferentes instrumentos (construcción de maquetas, realización de observaciones, animaciones, etc.) y combinando la modelización teórica con la observación y la experimentación.

## ACTIVIDADES DISEÑADAS

En este apartado se describen secuencialmente las diferentes actividades desarrolladas que se pueden agrupar en los siguientes aspectos:

- Actividades de exploración de ideas previas
- Presentación de 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.
- Exposición de los elementos teóricos necesarios del sistema Sol-Tierra para poder realizar modelizaciones.
- Construcción de una maqueta a escala reducida que refuerza 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 la simulación realizada sobre un globo terráqueo y 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 al mediodía.

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

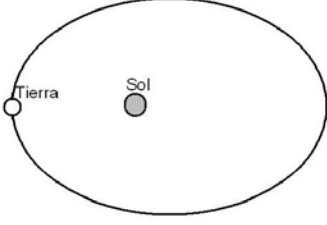
### Exploración de ideas previas

El objetivo de esta actividad no persigue únicamente una investigación educativa sino que pretende que los alumnos verbalicen sus ideas como punto de partida. Para ello se utiliza un cuestionario diseñado por De Manuel (1995) con pequeñas modificaciones (fig. 1). Este cuestionario utiliza 3 preguntas, la pri-

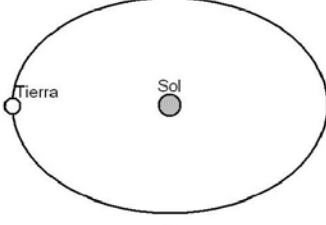


### Cuestionario utilizado

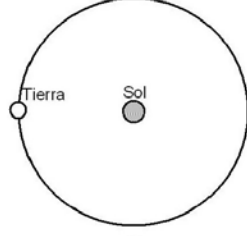
1. Como ya sabes, la Tierra gira alrededor del Sol mediante un movimiento denominado traslación. ¿Cuál de estos tres dibujos se aproxima más a la trayectoria que sigue la Tierra alrededor del Sol? (Pon un círculo en la letra).



A



B



C

2. Da una explicación de por qué en verano hace calor y en invierno hace frío.

3. En Australia (hemisferio sur) mucha gente celebra las Navidades bañándose en la playa. Explica por qué en el hemisferio sur es verano cuando en el hemisferio norte (nosotros) es invierno.

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

mera plantea la forma de la órbita terrestre, la segunda consiste en dar una explicación del por qué de las estaciones a partir de observaciones cercanas al estudiante (verano/invierno, calor/frío) y, la tercera, plantea una situación problema en la que simultáneamente tenemos en la Tierra, verano en un hemisferio e invierno en el otro.

Para caracterizar más detalladamente las ideas previas de los alumnos de niveles superiores, además del cuestionario citado, se puede pedir a los estudiantes que realicen representaciones gráficas de determinados fenómenos implicados en este sistema, por ejemplo de la evolución de la duración del día y de la noche a lo largo del año en nuestra latitud o del azimut de salida y puesta a lo largo del año (Couso et al. 2006). La representación gráfica es otra manera distinta de hacer aflorar las ideas previas, que les obliga a: elegir las variables significativas a representar (hora de salida, hora de puesta, azimut de salida y de puesta, etc. para un eje de la gráfica, y día, mes, etc. en el otro), dar una información más precisa (por ejemplo, representar la simetría entre estaciones o no, dibujar las transiciones entre estaciones más o menos abruptamente, etc.) y que les permite tener una visión más global de los fenómenos (representar a la vez variables distintas como azimut y hora de salida, teniendo en cuenta que en la dimensión temporal debe existir una correlación).

#### Análisis de las respuestas al cuestionario

La evaluación de las 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 (fig. 1), 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 cómo 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 discu-

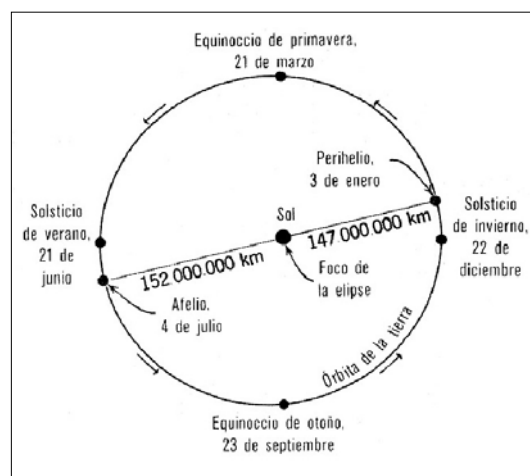


Fig. 2. Tamaño y características de la órbita terrestre, modificado de Sthraler (1975).



sión se deduce que el modelo que la mayoría ha argumentado no es válido para justificar las estaciones y, por tanto que: ¡tenemos que encontrar otro!

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 válida pero no disponen aun de herramientas (de un modelo) suficientes para superarla y ofrecer una explicación satisfactoria.

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.

### Elementos teóricos del modelo Sol-Tierra

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, los puntos básicos a tratar son:

- 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 sí;
- 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 una maqueta a escala reducida.

### Maqueta del sistema Sol-Tierra a escala reducida

Para reforzar el cambio de concepción proponemos la realización de una maqueta 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 DIN-A3. Además cada grupo tiene acceso al material común

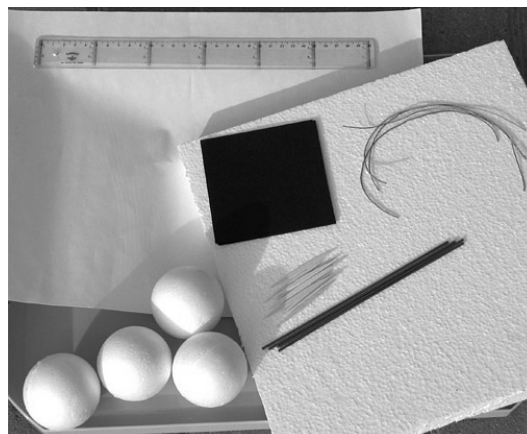


Fig. 3. Material necesario para la realización de la maqueta a escala reducida.

del laboratorio: reglas, transportador de ángulos, cordel, tijeras, compases, calculadoras, cinta adhesiva, palillos planos y redondos, etc.

Siguiendo el guión se van ejecutando las siguientes etapas:

- a) En primer lugar se debe conseguir que las bolas de porexpán sean pequeñas Tierras, 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  $UAB = 41^{\circ} 30' N$  (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).

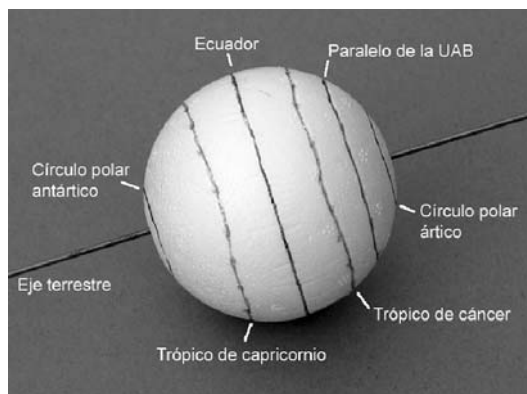


Fig. 4. Bola de porexpán con los paralelos principales dibujados y el eje hincado.

- b) 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 corres-



ponde 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.



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

c) 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).

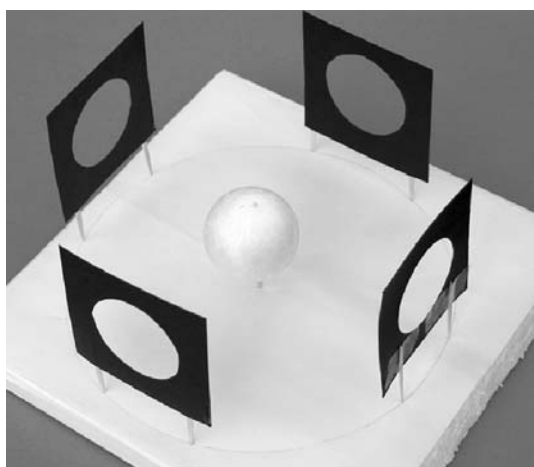


Fig. 6. Disposición de los círculos de iluminación (las cartulinas) perpendiculares a la posición del Sol sobre la órbita dibujada.

d) Por último sólo falta poner dentro de cada círculo de la cartulina 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).

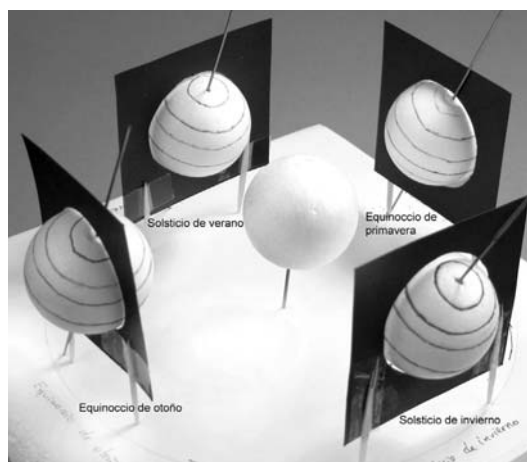


Fig. 7. Montaje de la maqueta del sistema Sol-Tierra, a escala reducida.

En cada situación las cartulinas que actúan de círculos de iluminación permiten visualizar, sin necesidad de utilizar una fuente luminosa, la mitad de la Tierra que queda iluminada por el Sol y la que queda en la parte oscura. Además el movimiento independiente de la Tierra, cuando se la hace 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.

e) El modelo se completa indicando para cada una de las situaciones qué posición es: solsticio de verano o de invierno, o equinoccio de primavera u otoño; y la fecha que les corresponde. Se debe 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 en cada posición las relaciones con los paralelos que definen los puntos de tangencia y perpendicularidad de los rayos solares.



f) 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 albada (A), el de la puesta (P), el del mediodía (M) y el de la medianoche (N).



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

g) Por último se formula un problema sencillo, que se puede resolver manipulando la maqueta (y utilizando el modelo científico que están construyendo):

– 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.

### 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 las siguientes actividades, en un día determinado:

a) 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.

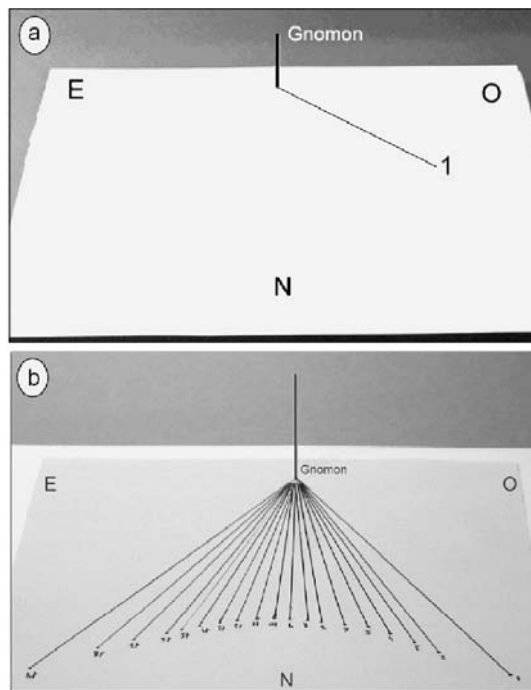


Fig. 9. a) Ejemplo de cómo colocar la placa de porexpán y el gnomon para la observación de las sombras a lo largo del día; b) ejemplo de registro de un día de invierno.

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 (apartado b). 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.

b) Si es posible, 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.

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 posición geográfica (azimut) 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 ( $180^{\circ}$ ), de manera que la sombra indica la di-



rección 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.

### 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 simular respecto a una fuente luminosa las distintas posiciones de solsticios y equinoccios. Incluso sin necesidad de una fuente luminosa se pueden constatar 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  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$ ), un pequeño transportador de ángulos de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  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 encuentre el globo terráqueo (fig. 10).

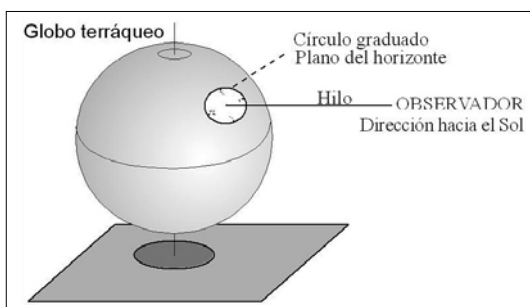


Fig. 10. Disposición del globo terráqueo, el plano del horizonte y la dirección del Sol, para la observación de la trayectoria aparente del Sol.

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 direc-

ción 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 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 suavemen-



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

te 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 en el mediodía.

A continuación podemos volver a mover la Tierra, mientras disminuye progresivamente el ángulo,



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





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

hasta ser tangente al círculo, momento de la puesta del Sol, en el que leemos en el círculo su azimut (fig. 13).

Esta simulación se repite para las posiciones de solsticio de verano y para los equinoccios, rellenando la tabla I, 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) o bien con los datos que nos ofrecen algunos observatorios astronómicos accesibles online.

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 ( $90^\circ$ ) y se pone por el oeste ( $270^\circ$ ). Idea que sostiene 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.

### 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

Latitud elegida: ? <i>Posición</i>	Azimut salida del Sol	Altura del Sol a mediodía	Azimut puesta del Sol	Altura del Sol a mediodía (teórica)
<i>Solsticio de invierno</i>				
<i>Solsticio de verano</i>				
<i>Equinoccio</i>				

**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? (anótelo 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.

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

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





las actividades realizadas, sólo un máximo de un 10% de los alumnos mantiene la concepción de la *variación de la distancia Tierra-Sol* para explicar el ¿por qué de las estaciones?

## CONCLUSIONES

Las estrategias diseñadas, en función de las ideas previas detectadas, fundamentadas en la confrontación con sus propias ideas y la realización de una serie de actividades destinadas a que los alumnos construyan un modelo del sistema Sol-Tierra, en el que se resalta 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?

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, *la maqueta 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.

Bach, J. y Franch, J. (2004). La enseñanza del sistema Sol-Tierra desde la perspectiva de las ideas previas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. (12.3), 302-312.

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).

Cooso, D., Bach, J. y Franch, J. (2006). Modelitzar com a competència fonamental de pensament científic: una proposta docent per treballar el model Sol-Terra per futurs mestres d'Educació Primària i Infantil. Comunicació acceptada en el IV Congreso Internacional de Docencia Universitaria e Innovación (CIDUI), Barcelona, 5-7 julio 2006.

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.

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. ■

