



La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso

Modelling in Science Education: demarcation criteria and case study

O Modelagem no Ensino de Ciências: critérios de demarcação e estudo de caso

Lourdes Aragón¹

Natalia Jiménez-Tenorio²

José María Oliva-Martínez³

Maria del Mar Aragón-Méndez⁴

Recibido: enero de 2018

Aceptado: abril de 2018

Para citar este artículo: Aragón, L., Jiménez-Tenorio, N., Oliva-Martínez, J. M., y Aragón-Méndez, M. M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de cas. *Revista Científica*, 32(2), 193-206. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12972>

Resumen

En este trabajo se demarcan, en primer lugar, distintos elementos característicos de los enfoques de enseñanza mediante modelización a partir de una revisión de la bibliografía existente. En segundo lugar, se analiza mediante los mismos una propuesta didáctica constituida por un total de 29 actividades y planteada para el estudio del sistema Sol-Tierra, concretamente del fenómeno de las estaciones, con maestros de educación primaria en formación inicial. Se trataba de comprobar en qué medida el diseño seguido podría situarse dentro del marco de enseñanza por modelización, y extraer de ahí sus fortalezas y debilidades que permitan una mejora del contenido y la estructura.

Palabras clave: estaciones, formación inicial de maestros, modelización, modelos, sistema Sol-Tierra.

Abstract

This paper presents, first a different characteristic elements based on the approach of educational modelling throughout a bibliography review. Secondly, a didactic proposal consisting of a total of 29 activities was analyzed. This proposal was proposed for the study of Sun and Earth but specially in the seasons phenomenon, with teachers in starting level from primary school. The experience tried to demonstrate, how the following design would be integrated in to the education by modelling, and in consequence extract the weaknesses and strength to improve the contents and its structure.

Keywords: modelling, models, seasons, Sun-Earth system, teacher initial training.

1. Universidad de Cádiz. España. lourdes.aragon@uca.es

2. Universidad de Cádiz. España. natalia.jimenez@uca.es

3. Universidad de Cádiz. España. josemaria.oliva@uca.es

4. Universidad de Cádiz. España. mmaragonmendez@gmail.com

Resumo

Neste trabalho distinguimos, em primeiro lugar, distintos elementos característicos das abordagens de ensino através da modelagem de acordo com uma revisão da bibliografia existente. Em segundo lugar, é analisada uma proposta didática composta por um total de 29 atividades e criadas para o estudo do sistema Sol-Terra, mais especificamente do fenômeno das estações, com professores do ensino primário em formação inicial. O objetivo era verificar em que medida a proposta seguida poderia ser colocada no quadro do ensino por modelagem e extrair pontos fortes e fracos que permitam uma melhoria no conteúdo e estrutura do mesmo.

Palavras-chaves: estações, formação inicial de professores, modelagem, modelos, sistema Sol-Terra.

Marco conceptual

En los últimos años la actividad de modelización acapara un creciente interés en la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009), empezando a considerarse como una competencia emergente de la educación científica, o al menos como una dimensión de la competencia científica. De ahí la importancia de incidir en el desarrollo de dicha capacidad a través de la formación científica.

En este contexto, el aprendizaje a partir de modelos está sirviendo para inspirar posibles itinerarios de progresión en el conocimiento (Bahamonde y Gómez-Galindo, 2016; Maguregi, Uskola, Burgoa, 2017; Sesto y García-Rodeja, 2017), la formulación de obstáculos en dicho tránsito (García-Rodeja y Sesto, 2016; González-Galli y Meinardi, 2017), el diseño de secuencias de actividades sobre temas específicos (Gómez-Galindo, Sanmartí y Pujol, 2007; Schwarz et al., 2009; Hernández, Couso y Pintó, 2015; Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017; Pérez-Gómez, Gómez-Galindo y González-Gómez, 2018), o la implementación de recursos de aula con esta orientación (Amadeu y Leal, 2013; Jiménez-Tenorio, Aragón y Oliva, 2016). En suma, todo da cuenta del alto dinamismo de

estos planteamientos, los cuales parecen estar concretando nuevos enfoques para la enseñanza de las ciencias, partiendo de la metáfora del aprendizaje del alumno como proceso de modelización análogo al que lleva a cabo el científico. Dicho enfoque se viene a sumar a otras estrategias como las de cambio conceptual, la investigación —o indagación— en torno a problemas o los enfoques de enseñanza en contexto (Gil, 1986; Campanario y Moyá, 1999; Vilches et al., 2014). En conjunto, componen una parte muy importante de los fundamentos que orientan hoy la innovación y la investigación en la enseñanza de las ciencias a través de métodos activos.

Esta diversidad de enfoques o estrategias, aun partiendo de presupuestos diferentes, solapan entre sí, comparten rasgos comunes y presentan en muchos casos perspectivas complementarias. Por esta razón, no es sencillo diferenciar unas de otras, sobre todo porque al materializarse en propuestas didácticas concretas no lo hacen desde enfoques puros, sino amalgamando varios de ellos. Esta circunstancia plantea un problema de comprensión en los profesores en formación inicial, quienes tienen dificultades a la hora de diferenciar distintos métodos activos de enseñanza.

Como ya sugerimos en estudios anteriores (Jiménez-Tenorio y Oliva, 2016a y 2016b), se pone en evidencia la necesidad de ahondar en la caracterización de distintos enfoques, estableciendo semejanzas y diferencias entre ellos. Con ello se dispondría de criterios para evaluar otras propuestas al uso, planteadas desde una o varias orientaciones distintas, lo que ayudaría a delimitar fortalezas, debilidades y posibilidades de mejora.

Atendiendo a lo anterior, y desde la perspectiva particular de los enfoques de enseñanza mediante modelización, en este artículo se plantan los siguientes propósitos:

1. Delimitar criterios de caracterización de propuestas de enseñanza abordadas desde enfoques de modelización científica.

2. Aplicar dichos criterios para evaluar un diseño para el tema del sistema Sol-Tierra en la formación inicial de maestros.

Para el primero de estos propósitos se propone un enfoque teórico a través de una revisión de la bibliografía que ayude a demarcar sistemas de categorías que incorporen elementos característicos de los procesos de modelización. Para el segundo, se recurre a un estudio de caso en el que se emplean esos sistemas de categorías para evaluar una propuesta concreta.

Demarcación de los enfoques de modelización en ciencias

En la bibliografía se constata que la noción de modelo es empleada con distintos significados, de modo que lo mismo se utiliza para aludir a determinadas facetas del saber científico, a unidades de conocimiento que estructuran el currículum escolar, a determinado tipo de recursos didácticos (maquetas, representaciones a escala, etc.) o a las representaciones mentales que elaboran los estudiantes en su comprensión de la ciencia (Harrison y Treagust, 2000; Gutiérrez, 2014; Chamizo, 2010; Adúriz-Bravo, 2012). Quizás sea por ello por lo que la idea de modelización se emplea también con distintos significados, como lo demuestra la diversidad terminológica observada a la hora de referirse a ella por distintos autores: instrucción basada en modelos (*models-based instruction*), enseñanza basada en modelos (*models-based teaching*), aprendizaje basado en modelos (*models-based learning*), enseñanza basada en la elaboración de modelos (*teaching based on modeling*), aprendizaje basado en modelización (*modeling-based learning*), o simplemente modelización (*modeling*).

Esta variedad de posiciones teóricas probablemente explica el éxito de estos enfoques para conectar con otras líneas de investigación, como las relativas al aprendizaje por cambio conceptual o la enseñanza por investigación, entre otras. Sin

embargo, también puede ser una fuente de imprecisión terminológica y de confusión teórica, que lastren la claridad y utilidad de estos enfoques (Gutiérrez, 2005). De ahí la necesidad de situar claramente la noción que mantenemos acerca de estos dos términos, ambos constituyen la base de esta investigación.

Así, por un lado, la idea de modelo a la que apelamos podría definirse como la representación de un objeto, un fenómeno, o sistema con el propósito es describir, explicar o predecir su comportamiento de la parte del mundo real a la que intenta evocar (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000; Adúriz-Bravo, 2012). Por su parte, la modelización la entendemos como el proceso de aprendizaje que acompaña al trabajo con modelos, no solo a la hora de construirlos, sino también de aplicarlos, revisarlos, modificarlos o, llegado el caso, cambiarlos por otros distintos (Justi y Gilbert, 2002). Situándonos siempre en un contexto de aprendizaje escolar.

En este marco, la base teórica que orienta el primero de los propósitos planteados se articula en torno a tres ideas centrales. En primer lugar, se supone que los modelos desempeñan un papel central tanto en la ciencia como en la educación científica, constituyendo mediadores entre el mundo observable y las teorías (Halloun, 1996; Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998; Harrison y Treagust, 2000; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005; Ducci y Oetken, 2012; Acevedo-Díaz, García-Carmona, Aragón-Méndez y Oliva-Martínez, 2017). En segundo lugar, se considera además que la modelización en ciencias conforma una actividad epistémica que requiere una gran variedad de capacidades, que abarcan tanto aspectos cognitivos como metacognitivos, así como perspectivas y visiones acerca de la naturaleza de los modelos (Grosslight et al., 1991; Harrison y Treagust, 2000; Schwarz, 2002; Oliva y Aragón, 2009; Torres y Vasconcelos, 2017). Finalmente, en tercer lugar, se plantea la necesidad de concebir el desarrollo de dicha aptitud a través de un itinerario de progresión como el que sugieren Justi y Gilbert (2002),

según una secuencia de complejidad creciente: a) aprender modelos, b) aplicar los modelos aprendidos, c) revisar los modelos aprendidos, d) participar en la reconstrucción de modelos y e) idear modelos nuevos.

En consecuencia, la capacidad de modelización debería entenderse como un conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores necesarios para llevar a cabo la tarea de modelar en su dimensión más amplia. No solo se trataría de aprender los modelos de la ciencia escolar, sino también trabajar con ellos, elaborarlos y revisarlos, así como hablar y opinar acerca de los mismos, entendiendo su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante, y sus limitaciones.

Desde esta perspectiva, son diversos los autores que han intentado desgranar en qué consisten los procesos de modelización, ya sea en términos generales (Justi y Gilbert, 2002; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009; Prins, 2010) o ante dominios curriculares concretos, como astronomía (Schwarz, 2002) o química (Kozma y Russell, 2005; Giomini, Marrosu y Cardillini, 2006; Justi, 2009; Aragón, 2012). Todos estos estudios apuntan a una serie de dimensiones que contemplan capacidades y valores como usar modelos para interpretar y predecir fenómenos, manejar distintas representaciones; valorar la utilidad y limitaciones de estos instrumentos; relacionar distintos modelos o representaciones y gestionar su uso en distintas circunstancias y comprender la naturaleza de los modelos, o participar en la creación de nuevos modelos. Por lo tanto, se entiende que cualquier propuesta de enseñanza elaborada desde enfoques de modelización, deberían recurrir a prácticas científicas que involucren este tipo de dimensiones.

Otro factor distintivo de los enfoques de modelización son los recursos que acompañan al desarrollo de dicha actividad en las aulas, como las analogías, las maquetas, las representaciones pictóricas, los modelos a escala, los experimentos mentales, las escenificaciones personificadas o las simulaciones por ordenador suelen asistir a las prácticas de modelización (Treagust y Harrison,

2000; Chamizo, 2010; Oliva, Jiménez-Tenorio, Aragón y Aragón-Méndez, en prensa). Al asumir que a veces no existe una línea divisoria clara entre algunos de estos recursos, se pueden establecer características diferenciadoras. Una representación a escala es una imagen que, siguiendo una relación de proporcionalidad, sustituye a la realidad. Una maqueta es una representación a escala, habitualmente material, tridimensional y simplificada, de un sistema. Una analogía es el establecimiento de relaciones de semejanza entre dos sistemas distintos. Un modelo mecánico es una representación material de un sistema que es manipulable. Un modelo mecánico puede tener carácter analógico ya que los objetos que representa son sustituidos por entidades análogas. No obstante, en conjunto, se tratan todos ellos de modelos analógicos escolares (Harrison y Treagust, 2000). Son “escolares” en la medida en que son modelos para la enseñanza (Justi, 2006), diseñados para que el profesor ayude a sus estudiantes a aproximarse al modelo científico. Y podemos decir que son “analógicos” al encontrarse normalmente basados en analogías (Chamizo, 2010).

Finalmente, es importante considerar que la práctica de modelización es algo más que la suma de destrezas, valores y recursos. Además, posee un sentido global que suele concretarse en forma de una trama cíclica de actividades en la que se integran los distintos elementos. En este sentido, diversos autores han aportado esquemas de modelización de esta naturaleza (Justi y Gilbert, 2002; Prins, 2010), muy similares entre sí y que podríamos sintetizar en un esquema como el que muestra la figura 1. Es en este contexto en el que cobran sentido todos los elementos característicos de la modelización planteados anteriormente, y donde se integran para constituir un todo.

A modo de síntesis, la tabla 1 presenta un sistema de categorías, con sus correspondientes indicadores, que pueden servir como definición operativa de lo que se entiende habitualmente por modelización a lo largo de la bibliografía.

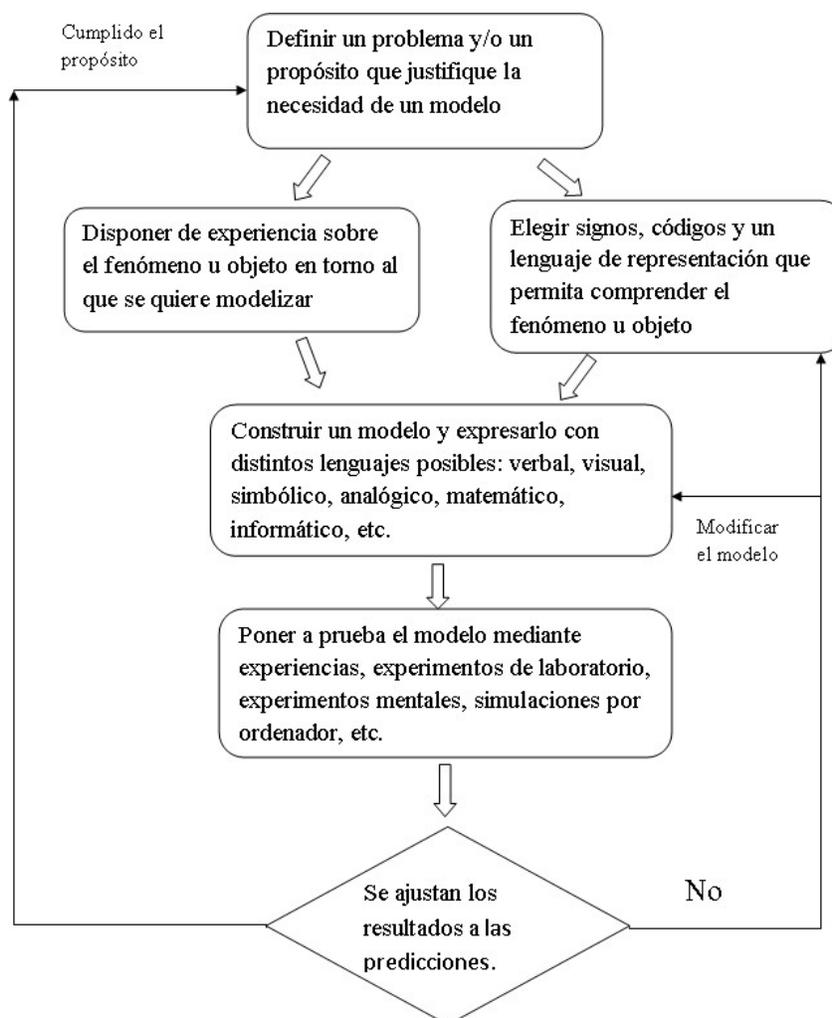


Figura 1. Adaptación del ciclo de modelización de autores como Justi y Gilbert, 2002 y Prins, 2010.

Fuente: elaboración propia de los autores.

Un estudio de caso: la modelización del fenómeno de las estaciones en la formación inicial de maestros

Objeto del estudio y concreción del caso

En este apartado se aplican los criterios de demarcación de los enfoques de enseñanza basados en la modelización en el análisis de un diseño concreto de enseñanza para el estudio del fenómeno de las estaciones. El caso elegido se corresponde con un diseño de enseñanza realizado en la Universidad de Cádiz (España) dirigido a futuros

profesores de primaria, dentro de la asignatura Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza I, de tercer curso del grado. Uno de los temas abordados en dicha asignatura es el sistema Sol-Tierra, a través del problema de la interpretación del fenómeno de las estaciones. La elección de dicho tema se justifica por su alta relación con experiencias de la vida diaria, y la significativa dificultad de su aprendizaje como bien lo atestiguan múltiples trabajos de investigación (Parker y Heywood, 1998; Navarrete, Azcárate y Oliva, 2004). Como parte de la formación científica que se proporciona al alumnado, se vienen ensayando estrategias de

Tabla 1. Síntesis de categorías e indicadores prototípicos de enfoques de modelización científica.

Categorías	Indicador
Dimensión 1: Facetas de modelización involucradas (Justi y Gilbert, 2002; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009; Prins, 2010; Schwarz, 2002; Kozma y Russell, 2005; Giomini, Marrosu y Cardillini, 2006; Justi, 2009; Aragón, 2012)	
M1. Integrar nuevas informaciones.	Se analiza si, a través de la actividad, al alumno se le proporcionan ideas y/o informaciones parciales que, adecuadamente ensambladas, contribuyan a componer el modelo objeto de aprendizaje.
M2. Representar imágenes y simulaciones, o trabajar con otras ya hechas.	Se analiza si la actividad ofrece alguna oportunidad para representar o escenificar fenómenos, o si los alumnos han de trabajar con representaciones ya hechas que tiene que interpretar.
M3. Interpretar la realidad de forma verbal.	Se evalúa si la actividad ofrece oportunidad para comunicar y expresar verbalmente sus explicaciones sobre los fenómenos considerados.
M4. Estimar la utilidad de los modelos.	Se analiza si la actividad propicia, de forma explícita, una valoración positiva por parte de los alumnos tanto de los modelos presentados como recursos, como de los propios modelos personales que ellos poseen.
M5. Aplicar los modelos aprendidos a nuevas situaciones	Se tiene en cuenta si la actividad proporciona situaciones para que el alumnado aplique los modelos aprendidos en situaciones novedosas: formular problemas, diseñar experiencias o realizar predicciones.
M6. Revisar modelos	Se valora si los alumnos han de cuestionar sus modelos iniciales, poniéndolos a prueba y detectando lagunas e insuficiencias. También, si se han de juzgar los modelos elaborados por otros o reconocer el carácter limitado y aproximativo de los modelos de la ciencia.
M7. Admitir el carácter evolutivo de los modelos.	Se analiza si la actividad se dirige a la toma de consciencia en torno al carácter provisional y cambiante de los modelos.
M8. Gestionar la variedad de modelos disponibles, siendo capaz de pasar de uno a otro.	Se valora si la actividad permite tomar consciencia sobre la posibilidad de explicar una misma cosa mediante diferentes modelos/representaciones, y/o si se fomenta el uso de múltiples modelos con conexiones entre ellos.
M9. Aportar ideas de manera creativa en las que se apoye la génesis de nuevos modelos.	Se analiza si el alumno forma parte activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ofreciéndose oportunidades para aportar nuevas ideas significativas en la gestación y desarrollo de nuevos modelos.
Dimensión 2: Recursos didácticos empleados (Harrison y Treagust, 2000; Treagust y Harrison, 2000; Chamizo, 2010; Oliva et al., en prensa)	
R1. Dibujos e imágenes estáticas	Se valora si los alumnos dibujan o recurren a dibujos de otros, imágenes y otros tipos de ilustraciones.
R.2 Modelos mecánicos con materiales de la vida cotidiana	Se estima si se emplean modelos analógicos elaborados a partir de objetos y materiales de la vida cotidiana.
R.3 Representaciones a escala	Se establece si los alumnos elaboran o recurren a representaciones a escala, ya de mediante instrumentos gráficos u objetos en tres dimensiones.
R.4 Analogías	Se evalúa si la actividad involucra el uso de analogías sugeridas por el profesor o si los alumnos tienen que generar analogías por ellos mismos.
R5 Maquetas	Se valora si la actividad recurre a maquetas comerciales ya hechas de fábrica con fines didácticos.
R.6 Escenificaciones y/o personificaciones	Se comprueba si los alumnos han de participar activamente en la tarea escenificando de manera dinámica, mediante su propio cuerpo, distintas partes u objetos del sistema que se modeliza.
R.7 Simulaciones mediante las TIC's	Se examina si se emplean aplicaciones digitales que permitan representar de forma dinámica mediante las TIC's los objetos y/o fenómenos del sistema modelizado.
R.8 Experimentos mentales	Se analiza si en las explicaciones del profesor se recurre a experimentos realizados mentalmente sin necesidad de ejecutarlos realmente.
Dimensión 3: Sentido global (Justi y Gilbert, 2002; Prins, 2010)	
CM Ciclo de modelización	Se analiza si la secuencia de actividades planteadas se adapta globalmente a un ciclo de modelización, contemplando uno o más ciclos de este tipo o aproximaciones a los mismos.

Fuente: elaboración propia de los autores.

enseñanza-aprendizaje orientadas desde el marco socio-constructivista, (Navarrete, 1998; Jiménez-Tenorio, Aragón y Oliva, 2016), con un foco de atención expreso tanto en la evolución de los modelos explicativos de los alumnos como en el desarrollo de capacidades reflexivas y de indagación propias del aprendizaje a partir de problemas.

Todo el tiempo los alumnos trabajan en pequeños grupos, de cinco a seis alumnos, interactuando entre ellos y con el profesor. Esto provoca que sea frecuente el debate y la discusión en el aula, que se promuevan continuas ocasiones para que los alumnos expresen sus modelos explicativos, los contrasten con otros y con los del profesor, y

los pongan a prueba a partir de actividades de reflexión, experimentación y simulación. Esto configura un marco de aprendizaje muy próximo a los enfoques de enseñanza por modelización.

Incluso cuando esa ha sido la intención de los profesores, la pregunta que se plantea es hasta qué punto el diseño de enseñanza empleado es coherente con dicho marco y, en caso afirmativo, de qué manera dicho análisis puede ayudar a replantear y mejorar el diseño implementado.

Metodología

Se trata de un estudio de investigación de tipo cualitativo, enmarcado en los estudios de casos y próximo a la investigación-acción, al analizar en su contexto natural una práctica de aula particular para introducir cambios y mejoras en el futuro, siendo las propias profesoras—las dos primeras autoras—las que investigan sobre su realidad. El caso se corresponde con la trama de actividades desarrolladas en el aula durante los cursos 2012-2013 y 2013-2014. En el estudio, participaron un total de 169 estudiantes, procedentes de tres grupos clase del tercer curso del Grado en Educación Primaria de edades comprendidas mayoritariamente entre los 20 y los 23 años, aproximadamente un tercio de ellos hombres y dos tercios mujeres. Los estudiantes trabajaron todo el tiempo agrupándose en un total de treinta pequeños grupos estables de trabajo de aula, cada uno formado por 4 o 6 sujetos. Los estudiantes no habían abordado asignaturas de ciencias desde su etapa como alumnos de secundaria, la mayoría de ellos no lo hacían desde cinco años antes, cuando abandonaron opciones de ciencias en dicha etapa, y solo una pequeña parte había cursado materias de ciencias durante bachillerato.

Un primer paso de la investigación fue seleccionar las dimensiones de análisis a considerar, para lo cual fue preciso concretar el diseño formativo en forma de propuesta didáctica, la cual estaba constituida por un total de 29 actividades como se especifican en el anexo 1.

Un segundo paso consistió en establecer las dimensiones y categorías de análisis a considerar en el estudio particular de las 29 actividades que componían el diseño implementado. En respuesta al mismo se eligió el sistema de categorías previsto en la tabla 1.

Para analizar las dos primeras dimensiones, los autores del presente trabajo, valoraron cada una de las 29 actividades que conforman la propuesta didáctica. En el caso de no existir acuerdo inicial, se debatía el significado de las categorías delimitadas hasta alcanzar un acuerdo. La tercera dimensión fue valorada por los mismos autores de forma conjunta, delimitando globalmente la aparición o no de ciclos de modelización presentes en la secuencia de actividades elaborada.

Resultados y discusión

La exposición de resultados se realiza por separado para cada una de las dimensiones consideradas.

Facetas contempladas de la competencia de modelización

Como resultado del análisis, cada actividad quedó caracterizada por una o más de las facetas (destrezas y valores) de la competencia de modelización. La tabla 2 ofrece un análisis descriptivo de frecuencias de la incidencia de cada dimensión de la modelización en cada una de las actividades que conforman la secuencia didáctica llevada a cabo.

Un primer aspecto a destacar es la importante presencia que tiene la modelización en la secuencia de actividades, habida cuenta del alto número de ocasiones en las que se trabajan facetas de modelización, concretamente en 86 ocasiones, esto es, casi tres facetas por actividad registrada.

Un segundo aspecto estriba en la existencia de un reparto desigual en la frecuencia de abordaje de las distintas dimensiones contempladas en el análisis, siendo M6, -Revisión de modelos, y M3,

Tabla 2. Frecuencias y porcentajes de abordaje de cada faceta de modelización en cada una de las actividades que conforman la secuencia didáctica (anexo 1).

Dimensiones	Número de actividades	% Respecto al total de actividades (N=29)	Ejemplos de las actividades de la secuencia didáctica indicadas en Anexo 1
M1. Integrar nuevas informaciones.	9	31,0	Ángulo de inclinación del eje (A5), datos de diámetros Tierra y Sol y distancia Sol-Tierra (A14)
M2. Representar/manejar imágenes y simulaciones	20	69,0	Representación mediante un dibujo de la órbita terrestre (A11), simulación del movimiento de traslación terrestre (A8)
M3. Interpretar la realidad de forma verbal.	21	72,4	Estaciones en distintos hemisferios, horas de luz, variaciones con la latitud (A21), examen de recapitulación (A29)
M4. Estimar la utilidad de los modelos.	1	3,4	Recapitulación de ideas (A28)
M5. Aplicar los modelos en nuevas situaciones	4	13,8	Estimación de la duración del día y de la noche en distintos puntos del globo (A17), análisis de la incidencia de los rayos sobre la Tierra en distintos momentos de su trayectoria (A20)
M6. Revisar modelos	22	75,9	Juicio crítico sobre los modelos de otros (A4), toma de consciencia sobre paradojas y limitaciones de modelos iniciales (A6, A9, A18)
M7. Admitir el carácter evolutivo de los modelos.	1	3,4	Reconstrucción y análisis de la experiencia (A29)
M8. Gestionar el uso de los modelos	3	10,3	Uso alternativo de modelos tridimensionales y dibujos en papel (A24)
M9. Aportar ideas de manera creativa	5	17,2	Representar y dibujar aspectos todavía no aclarados (A22, A23)

Fuente: elaboración propia de los autores.

Interpretación de la realidad de forma verbal. que son las facetas que se dan con mayor frecuencia, con porcentajes del 79% y del 72%, respectivamente. Le sigue de cerca la dimensión M2—uso de representaciones—con un 69%. Mientras tanto, algunas dimensiones fueron mucho menos abordadas, como M1—Integrar nuevas informaciones—con un 31%, seguida ya muy de lejos por M9—Aportar ideas de manera creativa—con un 17%, M5—Aplicar modelos a situaciones novedosas— con un 14%, y por M8—Gestionar el uso de modelos— con un 10%. Finalmente, casi de forma testimonial aparecen M4—Estimar la utilidad de los modelos—y M7—Admitir el carácter evolutivo de los modelos— que solo aparecen en una única actividad. Se infiere que las facetas con menor presencia son aquellas vinculadas a la comprensión de la naturaleza de los modelos—M4 y M7— o a la gestión de los modelos disponibles—M9— es decir, aquellas relativas

a conocimientos epistémicos y a la toma de decisiones en cuanto a qué modelo usar en cada momento.

Además, al margen de las tareas de revisión de modelos, que se revelan como una constante a lo largo del diseño de enseñanza, se aprecia una disminución en la segunda mitad de las tareas de la faceta integración de nuevas informaciones — M1—. Esto parece ser coherente, dado que los inicios de las estrategias de modelización requieren que se proporcione información de ayuda para convenir sistemas de representación y referentes de la realidad con los que contrastar después los modelos iniciales y hacerlos avanzar. A cambio, se aprecia la irrupción de las tareas correspondientes a las facetas o categorías más complejas— M5, M7, M8 y M9—las cuales se aglutinan solo en la segunda mitad de la secuencia, lo cual podría ser consistente con las dimensiones de mayor dificultad.

Recursos didácticos implicados característicos de los enfoques por modelización

Por otro lado, la tabla 3 aporta una perspectiva similar a la anterior, esta vez en función de la segunda dimensión de análisis.

Puede apreciarse que en la secuencia de actividades estudiada existe un alto número de categorías asignadas también en esta dimensión, concretamente 61 categorías de recursos involucrados, lo que supone un promedio de algo más de dos recursos por actividad. También puede verse que destacan tres tipos de recursos por encima de los demás, como son, y por este orden, la realización/manejo de dibujos e imágenes (83%), el uso de modelos analógicos confeccionados *ad hoc* con materiales cotidianos (48%), palillos para representar un eje, bolas de plastilina para representar la Tierra y/o el Sol, o flexos como focos de iluminación, y el uso de maquetas, globo terráqueo, (34%). Como indica la tabla 3, tales recursos están presentes en una horquilla que va desde la tercera hasta la cuarta parte de las actividades propuestas. Con bastante menos frecuencia, en

cambio, aparecen otros recursos como la elaboración de representaciones a escala, el desarrollo de escenificaciones y/o personificaciones en el aula, la utilización de analogías o la visualización y manejo de simulaciones por ordenador. Particularmente, parece necesario incrementar el papel de las TIC en los procesos de modelización practicados, ampliando y renovando el plantel de simuladores por ordenador empleado.

Sentido global de la secuencia de actividades

Un análisis cualitativo conjunto por parte de los investigadores en torno a la secuencia de actividades del anexo 1, no permitió identificar fácilmente partes de la misma coherentes con un ciclo de modelización, al menos que cumplieran una secuencia como la planteada en la figura 1. Si bien individualmente todas las fases implicadas en dicha figura tenían una repetida presencia en la secuencia didáctica, no aparecían secuenciadas exactamente de la forma prevista. Así, la definición de un propósito para modelizar (explicación del fenómeno de las estaciones), la evocación de

Tabla 3. Frecuencias y porcentajes de abordaje de recursos prototípicos de la modelización en cada una de las actividades que conforman la secuencia didáctica (anexo 1).

Dimensiones	Número de actividades	% Respecto al total de actividades (N=29)	Ejemplos de las actividades de la secuencia didáctica indicadas en Anexo 1
R1. Dibujos e imágenes	24	82,8	Realización de dibujos (A3, A20) y manejo de ilustraciones (A5, A19)
R2. Modelos mecánicos con materiales de la vida diaria	14	48,3	Bolas de plastilina (A5), palillos (A5), flexo (A13), etc.
R3. Representaciones a escala	3	10,3	Representación a escala de la órbita terrestre (A11, A15)
R4. Analogías	2	6,9	Avance de las agujas del reloj con la rotación terrestre (A13), hula hoop con órbita (A12).
R5. Maquetas	10	34,5	Globo terráqueo (A13, A17)
R6. Escenificaciones y/o personificaciones	1	3,4	Simulación mediante gestos y movimientos corporales, el movimiento terrestre (A8, A15)
R7. Simulaciones mediante las TICs.	2	6,9	Aplicaciones TIC (A26, A27)
R8. Experimentos mentales	5	17,2	Imaginar movimientos, extrapolar situaciones, inferir situaciones no observables, etc. (A7, A8)

Fuente: elaboración propia de los autores.

conocimientos previos en el alumno (*p. ej.* actividad 1 a actividad 4; anexo 1) y su enriquecimiento con nueva información (*p. ej.* actividad 5, actividad 14); el establecimiento de modos de representación mediante dibujos (*p. ej.* actividad 8) o modelos analógicos (*p. ej.* actividad 15); la participación activa en la elaboración de modelos (*p. ej.* actividad 23 y actividad 24) o la puesta a prueba de los mismos (transversalmente a través de actividades de conflicto cognitivo y a través de las simulaciones realizadas de distinto tipo), fueron tareas ampliamente presentes a lo largo del diseño didáctico, pero sin guardar un hilo conductor como el propuesto en la figura 1.

Es posible, en este sentido, que el diseño planteado fuera susceptible de notables mejoras en este aspecto, intentando una aproximación de su estructura a la descrita en la figura 1. O bien, es posible que la modelización suponga una estrategia más compleja de lo que se prevé sobre el papel y sea difícilmente reductible a un ciclo rígido y cerrado como el que se plantea en la literatura. Sin embargo, el planteamiento de crear, poner a prueba, evaluar los resultados y comprobar expectativas o reiniciar el proceso estuvieron implícitos durante toda la propuesta didáctica. En cualquier caso, el mero hecho de contrastar el diseño objeto de estudio con el ciclo de modelización descrito, ha supuesto una ocasión provocadora de contraste y reflexión, ya rica en sí misma como oportunidad para introducir cambios en la secuencia, sin duda necesarios.

Conclusiones

Este trabajo ha servido, en primer lugar, para inferir, a partir de la bibliografía existente, un conjunto de criterios de demarcación de los enfoques de enseñanza basados en la modelización. Para ello se han establecido tres dimensiones definitorias distintas, a saber: a) las destrezas y valores relacionados con la modelización puestos en juego; b) los recursos didácticos más característicos que acompañan a estos enfoques y c) la identificación en

la secuencia de actividades de uno o varios ciclos de modelización. Tales criterios, si bien no agotan todas las opciones de demarcación posibles, resultan útiles desde el punto de vista operativo para situar diseños de enseñanza coherentes con estos enfoques o con otros parecidos. Se asume, de cualquier forma, que también existen enfoques mixtos en los que la modelización puede aparecer integrada o combinada con otros enfoques, algo no solamente posible sino necesario.

En segundo lugar, los criterios inferidos se han empleado para evaluar un diseño de enseñanza concreto dirigido al aprendizaje del modelo de las estaciones en profesores de primaria en formación inicial. La aplicación del sistema de categorías elaborado han servido, por una parte, para concluir un importante grado de adecuación del diseño didáctico planteado a la naturaleza de los enfoques de modelización, aunque solo en solo dos de las tres dimensiones consideradas; de la otra, ha permitido delimitar algunas debilidades y posibilidades de mejora en el mismo, prestando más atención a determinadas facetas de la modelización y adecuando en mayor medida la secuencia planteada a las fases de un ciclo de modelización.

En resumen, este artículo aporta, de una parte, criterios de demarcación para caracterizar los enfoques de enseñanza basados en modelización, que pueden resultar útiles desde la óptica de su clarificación teórica y con vistas a la formación del profesorado. De otro, se ofrece un ejemplo de cómo se pueden emplear tales criterios para evaluar diseños de enseñanza concretos y realizar, en consecuencia, propuestas de cambio inspiradas a partir de un determinado marco teórico.

Agradecimientos

Proyecto I+D de Excelencia "Implicación de los estudiantes en prácticas reflexivas de modelización en la enseñanza de las ciencias" (EDU2017-82518-P), aprobado y financiado por el Mineco, convocatoria de 2017.

Referencias

- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M. M. y Oliva-Martínez, O. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 3(30), 155-166. DOI: <https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 1-9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, nº especial, 40-49.
- Ageitos, N., Puig, B., y Calvo-Peña, X. (2017). Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 86-97. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.07
- Amadeu, R., y Leal, J.P. (2013). Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 177-188.
- Aragón, M^a. M. (2012). *Aportaciones de la enseñanza con analogías al desarrollo del pensamiento modelizador de los alumnos acerca del cambio químico* (tesis doctoral). Universidad de Cádiz.
- Bahamonde, N. y Gómez-Galindo, A. A. (2016). Caracterización de modelos de digestión humana a partir de sus representaciones y análisis de su evolución en un grupo de docentes y auxiliares académicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), 129-147. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1748>
- Campanario, J. M. y Moyá, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1.02
- Ducci, M., y Oetken, M. (2012). "Nerves made of iron" - electrochemical model experiments on the excitation of nerve fibre. *Journal of Science Education*, 2(13), 56-59.
- García-Rodeja, I., y Sesto, V. (2016). ¿Por qué sube el agua? Un estudio comparativo del desempeño en el uso de pruebas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 2015-229.
- Gil, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 111-121.
- Gilbert, J., Boulter, C. y Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (eds), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_1
- Gilbert, J. K., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses?, *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_1
- Giomini C., Marrosu G. y Cardellini L. (2006). Unusual oxidation numbers in some radicalic molecules. *Journal of Science Education*, 2(7), 126-127. DOI: <https://doi.org/10.1080/0950069980200106>
- Gómez-Galindo, A. A., Sanmartí, N. y Pujol, R. M. (2007). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 325-340.
- González-Galli, L. M., y Meinardi, E. (2017). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes universitarios de biología. *Revista Eureka sobre*

- Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 435-449. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.03
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science conceptions of middle and high school teachers and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-882. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.3660280907>
- Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto “modelo mental”: Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 209-226.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Biografía*, 7(1), 37-66.
- Halloun, I. (1996). Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199611\)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I)
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026. DOI: <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Hernández, M. I., Couso, D., y Pintó, R. (2015). Analyzing student's learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 356-377. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>
- Izquierdo, M., y Adúriz-Bravo, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. *Actas del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Enseñanza de las Ciencias*, nº extra.
- Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J. M^a. (2016a). Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 121-136.
- Jiménez-Tenorio, N., y Oliva, J.M^a. (2016b). Análisis reflexivo de profesores de ciencias de secundaria en formación inicial en torno a diferentes secuencias didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 423-439.
- Jiménez-Tenorio, N., Aragón, L., y Oliva, J. M. (2016). Percepciones de estudiantes para maestros de educación primaria sobre los modelos analógicos como recurso didáctico. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 91-112. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1943>
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. (2009). Learning how to model in science classroom. Key teacher's role in supporting the development of students modelling skills. *Revista de Educación Química*, 20(1), 32-40. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30005-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30005-3)
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002). Modelling teacher's views on the nature of modelling and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Kozma R. y Russell J. (2005). Modelling students becoming chemists: Developing representational competence. En J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education*. Dordrecht: Springer.
- Maguregi, G., Uskola, A. y Burgoa, B. (2017). Modelización, argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación en futuros docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 29-50.
- Navarrete, A. (1998). Una experiencia de aprendizaje sobre los movimientos relativos del sistema “Sol/Tierra/Luna” en el contexto la

- formación inicial de maestros, *Investigación en la Escuela*, 35, 5-20.
- Navarrete, A., Azcárate, P. y Oliva, J. (2004). Algunas interpretaciones sobre el fenómeno de las estaciones en niños, estudiantes y adultos: revisión de la literatura. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(3), 144-166.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. En R. N. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science* (ppp. 3-45). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Oliva, J. M. y Aragón, M. M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las ciencias*, 27(2), 195-208.
- Oliva, J. M., Jiménez-Tenorio, N., Aragón, L. y Aragón-Méndez, M. M. (En prensa). La modelización como enfoque didáctico y de investigación en torno a la educación científica. *International Journal for 21st Century Education*.
- Parker, J. y Heywood, D. (1998). The earth and beyond: developing of primary teacher's understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education*, 20(5), 503-520. DOI: <https://doi.org/10.1080/0950069980200501>
- Pérez-Gómez, G., Gómez-Galindo, A. A. y González-Galli, L. (2018). Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2102.
- Prins, G. T. (2010). *Teaching and Learning of Modelling in Chemistry Education: Authentic Practices as Contexts for Learning* (tesis doctoral). Universiteit Utrecht.
- Schwarz, C. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. En *Proceedings of International Conference of Learning Sciences*. Seattle, WA.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Sesto, V. y García-Rodeja, I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 521-534. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.02
- Torres, J. y Vasconcelos, C. (2017). Desarrollo y validación de un instrumento para analizar las visiones de los profesores sobre modelos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 181-198. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.14
- Treagust, D. F. y Harrison, A. G. (2000). In search of explanatory frameworks: An analysis of Richard Feynman's lecture "Atoms in motion". *International Journal of Science Education*, 22(11), 1157-1170. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690050166733>
- Vilches, J. M., Benarroch, A., Carrillo, F. J., Cervantes, A., Fernández-González, M. y Perales, F. J. (2014). *Didáctica de las Ciencias Experimentales para Educación Primaria. I. Ciencias del espacio y de la Tierra*. Madrid: Pirámedes.



Anexo 1. Unidades de análisis contempladas.

SECUENCIA	Nº	ACTIVIDAD
Delimitación de propósitos y modelos previos	A1	Exploración de ideas previas sobre las estaciones.
	A2	Exploración de ideas previas sobre la duración de los días.
	A3	Exploración de ideas previas sobre la situación de los trópicos.
	A4	Análisis de respuestas de otros alumnos a las cuestiones anteriores.
	A5	Inclinación del eje.
	A6	Dos estaciones simultáneas en contexto más cercano.
	A7	Dos estaciones simultáneas.
Estudio del movimiento orbital terrestre	A8	Forma de la órbita terrestre.
	A9	Distancia entre el Sol y la Tierra (perihelio y afelio)
	A10	Diferencia entre perihelio y afelio.
	A11	Representación a escala de la órbita terrestre.
	A12	Perspectiva de la órbita terrestre (Hula-hop).
	A13	Sentido del giro de la Tierra (Globo terráqueo y flexo, reloj).
	A14	Tamaño relativo Tierra-Sol y distancias medias.
Análisis de la incidencia de los rayos solares	A15	Proporción: Tierra, Sol y distancia e incidencia con los rayos solares (Escenificación en el pasillo, simulación con bolas de plastilina).
	A16	Explicitación de la duración del día y de la noche.
	A17	Duración del día y de la noche en los solsticios Globo y flexo).
	A18	Duración del día y de la noche en los equinoccios.
	A19	Incidencia de los rayos en diferentes superficies.
	A20	Recapitulación: órbita, traslación, eje, incidencia de rayos (Globo terráqueo y eje).
	A21	Recapitulación: descripción de fechas cambio de estaciones, duración del día/noche y efecto térmico, comparación en distintos puntos del globo.
Comprensión global del fenómeno	A22	Recapitulación: intento de explicación de dichos fenómenos desde un modelo geocéntrico.
	A23	Recapitulación: segundo intento de explicación de dichos fenómenos desde un modelo heliocéntrico.
	A24	Recapitulación: tercer intento de explicación desde ambos modelos (Dibujos, simulación con globo y flexo).
	A25	Explicitar las ideas llegadas sobre las estaciones y demás fenómenos.
	A26	Simulador 1 página web "Earth Viewer"
	A27	Simulador 2 página web "NASA"
Revisión de lo aprendido	A28	Reconstrucción y análisis de la experiencia.
	A29	Prueba escrita.