

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y DISEÑO DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL MODELO SER VIVO EN LA ESCUELA PRIMARIA

GÓMEZ GALINDO, ALMA ADRIANNA¹; SANMARTÍ, NEUS² y PUJOL, ROSA MARÍA²

¹ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Cinvestav - Unidad Monterrey. Educación en Ciencias. Monterrey, México

² Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona

agomez@cinvestav.mx

neus.sanmarti@uab.es

rosamaria.pujol@uab.es

Resumen. En este artículo se fundamenta teóricamente una unidad didáctica, dirigida a estudiantes de primaria, donde se busca interpretar qué sucede con los seres vivos cuando hay un incendio forestal. Dicha fundamentación se sustenta en tres aspectos: *a*) la construcción del modelo teórico escolar de ser vivo en el marco de una ciencia escolar; *b*) tres escalas de observación en el modelo y su uso como herramienta conceptual para transitar del fenómeno a la interpretación teórica y *c*) la utilización de una maqueta dinámica como mediador didáctico que permitiera negociar las representaciones de los escolares acerca del fenómeno. Se presenta la concreción del diseño de la unidad didáctica llevada al aula y se reflexiona sobre la enseñanza de tres modelos interrelacionados: ser vivo-célula, ser vivo-organismo y ser vivo-ecosistema.

Palabras clave. Ser vivo, modelización, escalas de observación, mediadores didácticos, ciencia escolar.

Theoretical foundations and design of a teaching unit to teach the model of living being in primary school

Summary. In this article we lay the theoretical foundations of a teaching unit, aimed at primary students, to interpret what happens to living beings when there is a forest fire. Such foundations relate to three aspects: *a*) construction of the school theoretical model of living being in the framework of school science; *b*) scales of observation in the model and their use as a conceptual tool to move from the phenomenon to its theoretical interpretation; and *c*) use of a dynamic scale model as a didactical mediator allowing us to negotiate students' representations regarding the phenomenon. We present the concrete design of the instructional unit that was used in the classroom and we reflect on the teaching of three interrelated models: living being-cell, living being-organism and living being-ecosystem.

Keywords. Living being, modelling, scales of observation, didactical mediators, school science.

A MANERA DE INTRODUCCIÓN

Las perturbaciones ambientales constituyen una temática relevante para ser abordada en las aulas. Por un lado, ello se debe a su importancia e impacto socioeconómico en los grupos comunitarios y en la gestión de territorios. Por otro, al valor de su estudio científico, ya que se consideran parte normal de la dinámica de los ecosistemas y es primordial el estudio bioecológico de las poblaciones afectadas (Terradas, 2001). En la enseñanza

de las ciencias, en la escuela primaria, es un tema que se suele presentar escasamente debido a que se prima el estudio de sistemas naturales (seres vivos o ecosistemas) en condiciones de estabilidad. Sin embargo, si tal como propugnamos, el estudio de los seres vivos ha de ubicarse en su medio natural, es decir, en un ecosistema que presenta constantes cambios de diferente magnitud, las perturbaciones ambientales no pueden dejarse de lado.

En este trabajo se sustenta teóricamente una unidad didáctica (UD), aplicada a una clase de escolares de quinto grado de educación primaria, cuya finalidad era que éstos interpretaran una perturbación de relevancia en la zona mediterránea: los incendios forestales. En este escrito pretendemos ir estableciendo vínculos entre la fundamentación teórica y la aplicación práctica de la UD, por ello explicitamos los referentes teóricos y algunas reflexiones sobre su aplicación en el aula. Finalmente, se introduce brevemente la descripción de las actividades realizadas en la UD, cuya descripción en extenso puede encontrarse en Gómez y Pigrau (2005). Especialmente, se pone el acento en el concepto *de integración de escalas de observación*, como herramienta teórica para la construcción de un *modelo de ser vivo*, y en el uso de una *maqueta dinámica*, como herramienta mediadora para la gestión de la construcción de explicaciones causales en el aula. Esta UD fue la tercera que se diseñó en el marco de un proceso de investigación-acción. En su aplicación se recogieron datos de las interacciones entre docentes y alumnos, cuyo análisis para evidenciar la forma en que se construyeron explicaciones en el aula no se presenta en este artículo, éste se encuentra en Gómez (2005).

Cabe aclarar, desde este punto de partida, que en este artículo al hablar de *escalas de observación* no debe entenderse literalmente el concepto de *observación*, dado que no es posible observar literalmente muchos fenómenos biológicos. Al hablar de escalas, o niveles de observación, hacemos alusión a los diferentes niveles de organización que han de ser considerados, identificados y conceptualizados por los alumnos.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO SER VIVO Y REFLEXIONES SOBRE SU APLICACIÓN EN EL AULA

Los fundamentos teóricos que presentamos fueron el resultado de detectar obstáculos en la puesta en práctica de las dos primeras unidades didácticas y generar propuestas para superarlos. Éstas partieron de la adaptación a nuestra realidad de aula de marcos teóricos provenientes de la didáctica de las ciencias y de la ecología. En este artículo esta fundamentación se presenta en torno a tres ejes teóricos y metodológicos básicos:

- a) La construcción del modelo teórico escolar de ser vivo, en el marco de una ciencia escolar.
- b) Las escalas de observación en el modelo ser vivo y su uso como herramienta conceptual para transitar del fenómeno a la interpretación teórica.
- c) La utilización de una maqueta dinámica como mediador didáctico, que permite construir representaciones de las ideas de los escolares acerca del fenómeno, que es complejo y de difícil representación y, al mismo tiempo, favorecer la regulación de las explicaciones generadas.

a) La construcción del modelo teórico escolar de ser vivo en el marco de una ciencia escolar

En este apartado presentamos el concepto de *modeliza-*

ción de referencia en este trabajo y, en especial, el modelo de ser vivo propuesto.

La ciencia y la ciencia escolar vistas como procesos de modelización

La propuesta didáctica que presentamos se fundamenta en la idea de que una de las finalidades de la enseñanza y aprendizaje en el aula de ciencias es la construcción de modelos científicos escolares por parte del alumnado. Partimos de un enfoque cognitivo de la ciencia (Giere, 1992a; Carey, 1992; Nersessian, 1992), según el cual, los científicos generan teorías para explicar los hechos del mundo que se ajustan en alto grado a los resultados experimentales. Para Giere (1992b), las teorías son poblaciones de modelos organizados y jerarquizados. La relación entre el modelo y el fenómeno es expresada lingüísticamente por las llamadas «hipótesis teóricas» (Giere, 1992b). Los modelos son aceptados considerando no sólo factores racionales sino también sociales y contextuales.

Los modelos se entienden como una trama de ideas organizada y jerarquizada, son abstractos y contruidos para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo. Éstos contienen entidades y las relaciones entre éstas, las cuales pueden expresarse en forma de leyes, conceptos, hipótesis, y también analogías y metáforas. Las entidades pueden considerarse como las unidades operacionales del modelo, usadas para pensar, comunicar y actuar; son constructos conceptuales que se pueden caracterizar por su comportamiento dentro de los límites del modelo y a veces también por su estructura. Así, por ejemplo, las entidades del modelo átomo son electrón, protón, neutrón, y se relacionan unas con otras por su tipo de movimiento y disposición en el átomo, entre otras.

Con los modelos se generan formas de «ver» o conceptualizar el mundo, de interpretarlo y de comunicarse. Cuando ponemos en marcha un modelo para explicar un fenómeno y nos comunicamos a través de palabras, dibujos o gestos, estamos generando representaciones del modelo (Buckley, 2000) o representaciones semióticas (Tamayo, 2006). Las representaciones son creadas con un propósito particular, ya sea comunicativo para negociar significados, cognitivo para razonar, u operatorio para resolver problemas.

Esta forma de concebir lo que es la ciencia humaniza el trabajo científico. La ciencia se convierte en una actividad que puede ser también realizada, por ejemplo, en un contexto escolar. Así, cuando en el aula se construyen modelos teóricos que tienen sentido para los niños y las niñas y les posibilitan comprender el mundo haciendo, pensando, comunicando e integrando valores y maneras de intervenir en la realidad, hablamos de una ciencia escolar (Izquierdo et al., 1999; Adúriz-Bravo, 2001).

Este acercamiento sobre el aprendizaje de las ciencias se fundamenta en las teorías socioconstructivistas del aprendizaje (Coll, 1991; Rodrigo y Cubero, 2000), que ponen en relieve tanto la importancia de las interacciones entre los escolares y de éstos con sus maestros y maestras en los procesos de gestión y regulación de las ideas que construyen de manera

espontánea, así como en la organización de dichas ideas y la incorporación de otras, y la posibilidad de actuar, tomar decisiones y resolver problemas (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989; Rodrigo, Rodríguez y Marrero, 1993; Lesgold, 2004 o Ying-Tien y Ching-Chung, 2005, entre otros).

Los modelos de ciencia escolar que se pretende construir con los niños y las niñas no son una simplificación de los modelos de la ciencia erudita para ponerlos a su alcance, sino una construcción nueva y compleja que depende de muchas variables como son la edad e intereses de los alumnos y sus antecedentes, las finalidades de la enseñanza, la potencialidad explicativa del modelo objeto de aprendizaje, la relevancia social de los fenómenos a explicar, las condiciones socioculturales de la comunidad donde se ubica la escuela y los recursos de que se dispone (Sanmartí, 2000).

Una consecuencia derivada de esta aproximación es la de guiar el diseño del currículo hacia la construcción de modelos escolares básicos. Por ejemplo, los modelos «ser vivo», «cambio químico» o «mecánica» podrían ser sugerentes (Izquierdo, 2000). Por lo que se refiere al modelo ser vivo, éste puede ser considerado un modelo irreducible fundamental en el campo de la biología que debiera, por tanto, ser enseñado en el aula (Weisz, 1975; Arca, Gudoni y Mazzoli, 1990; Cañal, 2003; Pujol, 2003; García, 2005, entre otros).

El modelo de ser vivo

Un acercamiento tradicional al estudio de los seres vivos en la escuela primaria sería desde su estructura, relacionando los órganos y los sistemas con sus funciones, p.e. el aparato digestivo, muscular o esquelético o circulatorio. Se haría énfasis en la ubicación espacial de los órganos, sus nombres y la función que desempeñan. En esta forma de abordar su estudio la relación entre estructura y función se presenta de forma lineal y causal simple.

Sin embargo, los seres vivos son sistemas complejos en constante interacción con su medio, donde la estructura y dinámica de las funciones interactúa (Kitano, 2002). Abordar el estudio de los seres vivos en la escuela requiere una visión compleja de éstos y de sus interacciones con el medio (Pujol, 2003). La enseñanza de la biología debiera permitir a los escolares empezar a pertenecer a una comunidad científica, donde se dan prácticas específicas que tienen que ver con comprender la interdependencia entre los seres vivos y el medio, apreciar la vida a través de entenderla como fenómeno dinámico y singular, ver su vulnerabilidad y su capacidad de adaptación y, en función a ello, hacerse preguntas y buscar las posibles respuestas. Para lograr lo anterior, la enseñanza tradicional desde su estructura y función aislada no es suficiente.

En esta propuesta la visión dinámica y compleja de los seres vivos se aborda recuperando tres funciones: *nutrición*, *relación* y *reproducción*, pero afrontándolas de manera interdependiente y, especialmente, en la integración de un organismo que vive en un medio específico. En la figura 1, Espinet y Pujol (2003) representan esquemáticamente esta visión de los seres vivos, donde la estructura y la función se relacionan con flujos de materia y energía en un sistema dinámico. Este enfoque es coherente con otras propuestas para acercarnos en

el aula al estudio de los seres vivos, por ejemplo las de Arcà, Gudoni y Mazzoli, P. (1990), García y Sanmartí (1998), Cañal (2003), Pujol (2003) y García (2005).

Siguiendo a García (2005), al trabajar en el aula el modelo de ser vivo, éste se entiende como un sistema que: *a*) intercambia materia y energía con el medio, modificando, como resultado, el medio en el que vive (*nutrición*), *b*) capta estímulos del medio y responde a ellos (regulación o *relación*), *c*) proviene de otros seres vivos, puede reproducirse y transferir sus características a sus descendientes (autoperpetuación o *reproducción*) y *d*) está constituido por una o muchas unidades estructurales, cada una de las cuales tiene a su vez las mismas propiedades que el todo (*células*). Tomando como base estas ideas, el modelo de ser vivo puede considerarse como una teoría formada a su vez por tres familias de modelos: modelo «*ser vivo-organismo*», modelo «*ser vivo-ecosistema*» y modelo «*ser vivo-célula*» (Figura 2). Este punto de vista es coherente con la definición de Giere (1999) del concepto de *teoría* y permite dar continuidad al currículo ya que posibilita el estudio de los seres vivos de forma articulada.

Figura 1
Modelo de ser vivo, resaltando la interacción con el medio (Espinet y Pujol, 2003:53).

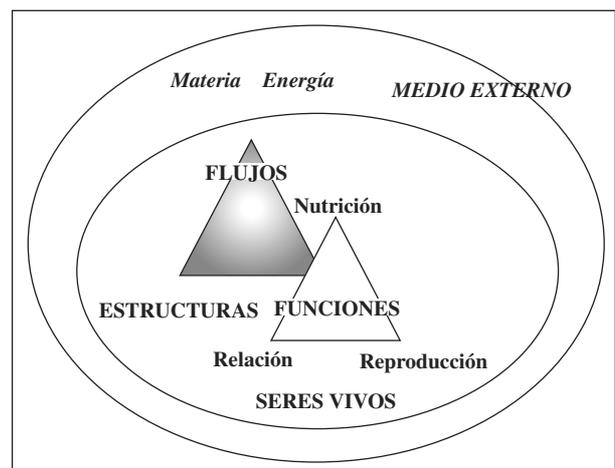
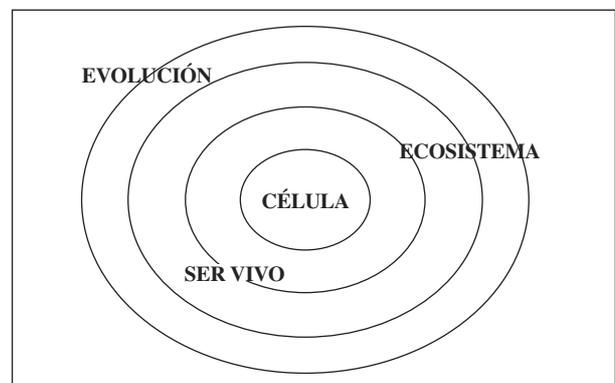


Figura 2
Familia de modelos relacionados con el de ser vivo (García, 2005:2).



Al abordar cada una de estas funciones pueden identificarse, para cada nivel educativo y de acuerdo con las características propias de cada grupo-clase, las ideas importantes a desarrollar en diferentes ámbitos, como, por ejemplo, los propuestos por Cañal (2003): *a*) unidad y diversidad, *b*) interacción, *c*) formas de organización y *d*) procesos de cambio.

Como menciona García (2005), al situar el modelo «ecosistema» se utilizan las mismas entidades teóricas que para el modelo ser vivo, aunque en este caso la unidad de análisis básica no es el organismo sino la población. Cada una de las poblaciones también: *a*) intercambia materia y energía con el medio (ciclo de la materia y flujo de energía), *b*) se relaciona con el medio y responde a él, modificándolo, dentro de las limitaciones de lo que entendemos por adaptación (y ofrece un marco para interpretar todas las interacciones a nivel de biotopo y biocenosis, así como los impactos ambientales y sus consecuencias para la población), y *c*) se reproduce y transfiere información en el espacio y el tiempo (sucesiones).

Si bien cuando se habla de organismos unicelulares es posible situarse en el modelo ser vivo-célula o ser vivo-organismo, consideramos que su diferenciación con fines didácticos puede ser de utilidad, especialmente al trabajar en la escuela primaria. Por otra parte, se ha de tomar en cuenta que una de las finalidades de la ciencia escolar es que se vayan relacionando e integrando los tres modelos, de forma que los escolares identifiquen los diferentes fenómenos naturales desde la teoría de ser vivo.

Podemos decir, resumiendo, que en esta propuesta didáctica se pone el énfasis en la *visión sistémica y escalar* de los seres vivos. A continuación se abordan las escalas de observación en cada uno de estos *tres modelos de ser vivo*, a saber, modelo ser vivo-célula, modelo ser vivo-organismo y modelo ser vivo-ecosistema. En adelante les llamaremos modelo célula, modelo organismo y modelo ecosistema.

b) Las escalas de observación como herramienta conceptual para construir los modelos de ser vivo

Al situar a los seres vivos en su medio, y específicamente al interpretar lo que sucede cuando ocurre una perturbación como los incendios forestales, encontramos que los escolares utilizaban de forma natural diversos niveles de observación para la explicación de los fenómenos (nivel celular, de órganos y sistemas, de individuos, de comunidades, de ecosistemas o planetario) (Gómez, 2005). Esta variedad de posibilidades para situar las miradas resultó una fuente de riqueza en el desarrollo de la conversación en el aula. Sin embargo, también constituyó un obstáculo a superar, dado que la dispersión de observaciones dificultaba la gestión de las actividades y de la conversación orientada a construir una interpretación del fenómeno utilizando las ideas de un modelo teórico. Esta dificultad en la definición de niveles de observación en el área de la biología ha sido reconocida en la investigación en bio-

logía y ecología (Terradas, 2001), así como también en educación (Menegaz y Mengascini, 2005).

Como resultado de lo anterior, durante la elaboración y justificación de la unidad didáctica, introdujimos una *visión de escalas de observación* de los seres vivos, que nos auxilió al gestionar las actividades y la conversación. Con la finalidad de diseñarla adaptamos los planteamientos de diversos autores del campo de la ecología, especialmente los de Allen y Starr (1982), Pickett y White (1985), Pickett, Kolasa y Jones (1994) y Terradas (2001).

Inicialmente, partimos del proyecto de buscar que los escolares, a largo plazo, pudieran tener construida una familia de modelos de ser vivo (célula, organismo y ecosistema) y establecieran relaciones significativas entre ellos. Con ello se pretendía que los estudiantes identificaran los diferentes niveles de organización y sus relaciones y con ello, generaran una concepción integral de los seres vivos. En este sentido seguimos las reflexiones de Terradas (2001:96), en relación con:

«La ecología [y la biología] debe[n] arriesgarse a considerar los fenómenos a múltiples escalas y tratar de integrar los modelos obtenidos para cada una (...)

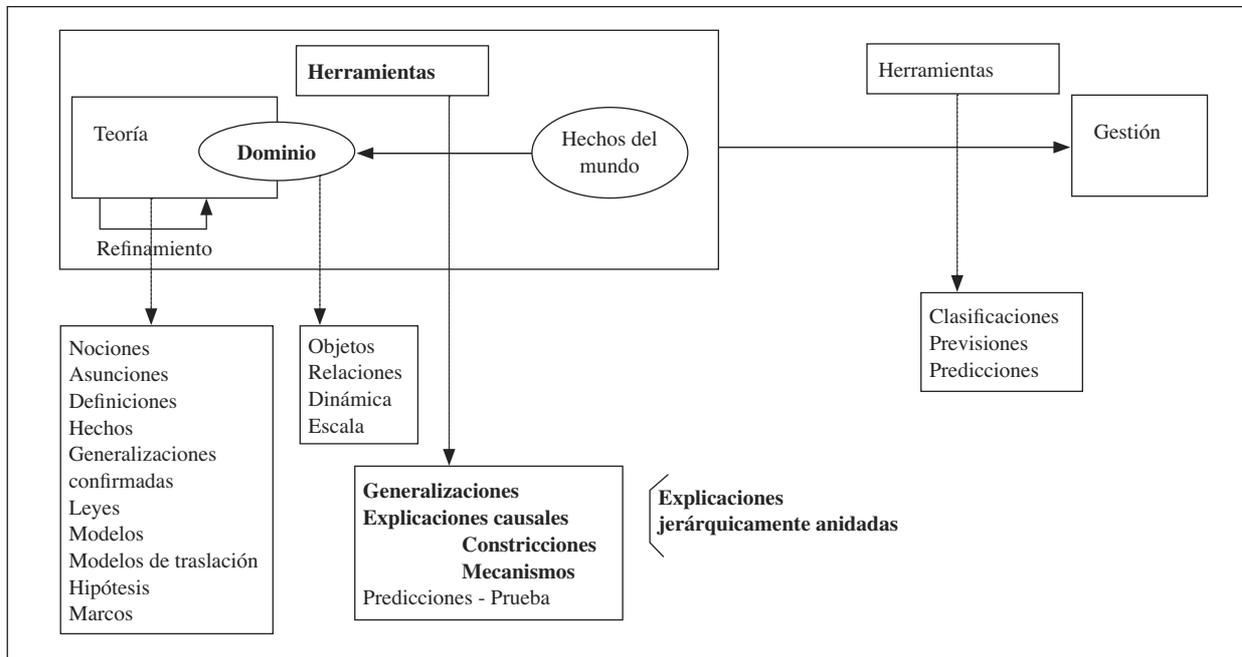
«Luego, podemos plantearnos el problema de los cambios de escala: por ejemplo, de qué modo nuestras observaciones sobre las hojas (y los modelos teóricos que desarrollemos a partir de ellas) pueden emplearse para explicar pautas heterogéneas en el tiempo y en el espacio que aparecen en las comunidades, cómo podemos emplear los modelos desarrollados para las comunidades en la explicación de pautas de paisaje, etc.».

En la propuesta final, que presentamos a continuación, afirmamos que los fenómenos a explicar en cada modelo (célula, organismo y ecosistema) se sitúan en niveles escalares diferentes. Para ello, adaptamos la idea de Pickett y colaboradores. Dichos autores consideran que una de las herramientas cognitivas para construir una teoría que explique hechos del mundo es la generación de lo que en este trabajo se ha denominado *explicaciones jerárquicamente anidadas* («*nested hierarchy of causal explanation*»¹, Pickett, Kolasa y Jones, 1994:39).

Según Pickett y colaboradores, para la producción de estas explicaciones se parte de las *generalizaciones*, en las que se identifican las regularidades o patrones del fenómeno. Posteriormente, se buscan las causas del patrón detectado. Estas causas se encuentran, por un lado, en una escala o nivel de organización inferior, en el que se identifican los *mecanismos* causales, que permiten reconocer los procesos, mecanismos, interacciones o condiciones que producen el patrón del fenómeno. Por otro lado, en el nivel escalar superior o nivel de organización superior, se encuentran las *constricciones*², que condicionan la velocidad e intensidad de respuesta de los mecanismos. *Tanto los mecanismos como las constricciones se consideran las causas del patrón detectado y permiten generar las posibles predicciones* (Figura 3).

Figura 3

Propuesta de Pickett, Kolasa y Jones (1994:28) sobre las herramientas que utilizan los científicos para pasar de los fenómenos a las teorías.



Estas explicaciones son instrumentos para la comprensión, que relacionan los constructos conceptuales o entidades del modelo con el fenómeno identificado. Pickett y otros (1994:39), lo expresan en los términos siguientes:

«It is often possible and useful to cast causal explanations as a nested hierarchy of processes. A phenomenon at a focal level of organization in a hierarchy can be explained by causes at a lower level of organization and by constraints at higher lever of organization.»

La integración de los tres niveles escalares en la explicación (generalizaciones, mecanismos y constricciones) proporciona una visión de organización jerárquica de los sistemas y es una forma de incorporar la complejidad, evitando un excesivo reduccionismo.

Muchas veces, los niveles inferiores en la jerarquía están anidados, y en forma agregada generan los niveles superiores: por ejemplo, en el caso del nivel organismos, éste se agrega formando poblaciones. Otras veces no es así, por ejemplo, los predadores y presas pueden constituirse en constricción o mecanismo dependiendo del momento y de la relación que se analice. Otro ejemplo son las presiones selectivas, que pueden ser una constricción para el desarrollo de las poblaciones y no generan una estructura anidada. Tanto en los casos anidados como en los que no, la complejidad viene de la no linealidad y de la asimetría de la entidad que afecta y es afectada por su ambiente. El ambiente constituye en la jerarquía el nivel superior y responde más lentamente que las entidades a las que constriñe (Allen y Starr, 1982).

En este sentido consideramos que la discreción de los sistemas, es decir los límites de las escalas, son producto de las percepciones humanas que se generan con fines explicativos y de comprensión, aunque no son arbitrarios. Para esta no arbitrariedad coincidimos con Varela (1995:51), cuando menciona:

«[...] de los muchos posibles caminos a barajar, el camino particular que observamos permite que veamos lo que es el mundo para el sistema, es decir, la manera particular en que ha mantenido una historia continua de acoplamiento con su entorno sin desintegrarse.»

«[...] Estamos en camino de la explicación de un mecanismo mediante el cual se pueden comprender y construir los procesos de percepción, un mecanismo por medio del cual las unidades pueden dotar de sentido a un mundo a través de su estructura y de la historia de sus interacciones.»

En la planificación y desarrollo de la propuesta didáctica, para construir el modelo de ser vivo, retomamos, de la propuesta de Pickett y colaboradores, especialmente dos aspectos que se desarrollan a continuación:

1. El dominio del modelo teórico.
2. La generación de explicaciones jerárquicamente anidadas, como herramientas para la construcción del modelo.

El dominio del modelo ser vivo

Como ya hemos dicho, podemos considerar el modelo ser vivo como una teoría formada a su vez por tres modelos: célula, organismo y ecosistema. Para los tres

modelos las ideas básicas de intercambio de materia y energía, capacidad de regulación y de perpetuación, son el eje vertebrador (Margulis y Sagan, 1997). Sin embargo, aunque las ideas se mantienen, las escalas de aplicación de las mismas varían. En el aula, tanto para la construcción de cada modelo como para su integración sería necesario que los escolares aprendieran a diferenciar los niveles escalares de organización en que pueden aplicarse estas ideas, es decir, adquirieran una visión de escalas de observación o de interpretación.

Estos diferentes niveles en que se aplican las interpretaciones de los fenómenos y los constructos conceptuales para cada modelo se identificarían en lo que Pickett, Kolasa y Jones definen como «dominio» de un modelo (1994:32). Así, se sugiere en esta propuesta que para cada uno de los tres modelos se generarían dominios distintos.

El dominio del modelo delimita la parte del fenómeno al que se refieren y al que no se refieren los constructos conceptuales. Incluye el fenómeno y conceptos a los que alude el modelo, el nivel de organización en que el modelo se aplica y la escala espacial y temporal. En los modelos teóricos escolares que hemos expuesto en la sección inicial de este trabajo, el dominio quedaría expresado lingüísticamente en las hipótesis teóricas propuestas por Giere (1992b).

Siendo así, al interpretar el fenómeno de los incendios forestales en el aula, puede propiciarse tanto la construcción del modelo ecosistema como el de organismo. Ambos, son sistemas abiertos que intercambian materia y energía. En el primero, los flujos de materia se sitúan en los ciclos de nutrientes; mientras que en el segundo, en el proceso de nutrición del organismo. En la aplicación de la UD a la que se refiere este artículo un ejemplo de lo anterior se constata cuando los escolares hablan sobre las plantas del bosque. En este caso los escolares suelen referirse a los frutos y semillas como «alimento para los animales». La decisión del docente de dirigir la conversación y las actividades hacia las redes tróficas (flujos de materia y energía en el ecosistema) o hacia la nutrición de los animales (flujos de materia y energía en los organismos) conduce a la construcción de modelos distintos: en el primer caso al modelo ecosistema y en el segundo al modelo organismo.

Por lo anterior, en el diseño y aplicación de la UD consideramos importante tener en cuenta el hecho de situar claramente si se está hablando de los organismos o de las comunidades. Como se ha mencionado, los procesos estudiados no se dan a una única escala, si bien los agentes más importantes son distintos en cada una (Terradas, 2001). En el presente caso fue importante definir si se trabajaría en el aula sobre generalizaciones referidas al organismo o al ecosistema.

Así pues, puede decirse que los modelos propuestos (célula, organismo, ecosistema) se caracterizan por definirse y teorizarse en un entramado de escalas de organización u observación con puntos de referencia diferentes (generalizaciones, mecanismos y constricciones). Con-

secuentemente, en su tratamiento en el aula, la elección del modelo a construir precisa la determinación de las escalas a tratar y la forma de relacionarlas. Por ejemplo, la reproducción de los organismos o la sucesión después de que un bosque se quema en un incendio tienen que ver, en ambos casos, con la capacidad de los sistemas de perpetuarse, pero en cada uno las escalas de organización del fenómeno se teorizan en diferentes niveles jerárquicos de observación.

Cabe precisar que en esta propuesta el concepto de *jerarquía* se entiende en términos *no* de una causalidad lineal en la que puedan suponerse relaciones de superioridad, sino en términos de la coexistencia de entidades menores en conjuntos mayores.

Para fines prácticos, la planificación de una unidad didáctica se iniciaría estableciendo el dominio del modelo a través del nivel de organización en el que se sitúan las observaciones que se pretenden explicar, es decir las generalizaciones. Las observaciones, entendidas como patrones detectados o preguntas significativas, conducen a buscar explicaciones del porqué de la presencia de dichos patrones.

Para ejemplificar lo anterior, en el modelo ecosistema se puede partir de generalizaciones relacionadas con las cadenas tróficas (¿quién se come a quién?), de las pirámides de abundancia (¿qué tipo de seres vivos es más abundante en esta zona: carnívoros, herbívoros?, ¿qué tamaño de animales abunda más: los grandes o los pequeños?), o de la proporción de sexos o de edades (¿cuántos adultos hay y cuántas crías?). Para trabajar el modelo ser vivo las generalizaciones de partida pueden ser del tipo de las planteadas en nuestra unidad didáctica (Gómez, Sanmartí y Pujol, 2006): «las aves huyen cuando hay un incendio», «las hormigas buscan comida en el verano». También pueden ser del tipo: «las plantas sin agua, sol y aire mueren», «los niños podemos oler la comida de mamá», «sentimos frío en invierno», etc. Para el modelo célula pueden ser del tipo: «las células se contraen si las ponemos en agua salada», «necesitamos un microscopio para observar las células», etc.

Posteriormente, habrían de plantearse actividades y experimentos o simulaciones que permitan identificar mecanismos y constricciones que causan el patrón detectado. Estos temas se abordarán a continuación.

La integración escalar para la generación de explicaciones causales

Si bien el concepto de *explicación* tiene significados distintos en función de la fuente que se consulte, por ejemplo explicaciones causales, narrativas o integradas (Norris et al., 2005), en este trabajo partimos de las aportaciones de Veslin (1988). Para dicho autor las explicaciones científicas responden al porqué de una observación de acuerdo a un modelo científico, y para ello se requiere mirar al nivel inferior de organización respecto al que se ha realizado la observación (Llibourty, en Veslin, 1988). Desde nuestro punto de vista, otro aspecto que es primordial, y que proponemos, es *la incorporación en la explicación*

del nivel superior de organización respecto al que se ha realizado la observación, considerándole como una restricción (Gómez, Sanmartí y Pujol, 2005).

Así, la explicación causal, en la familia de modelos de ser vivo, se genera en un entramado de dos aspectos:

- La producción de *generalizaciones*, como patrones que requieren una explicación causal.
- La explicación de dichos patrones a través tanto de los *mecanismos* (nivel inferior) como de las *restricciones* (nivel superior).

La producción de generalizaciones como patrones a explicar

Hemos de llamar la atención sobre el hecho de que la generalización no es el fenómeno de referencia, sino una herramienta para construir el modelo teórico (Figura 3). Esto se debe a que para elaborarla se requiere realizar una abstracción en la que se consideran los atributos relevantes del sistema y se dejan de lado otros que no lo son, y ello requiere una orientación teórica de la observación. El modo de generalización más concreto consistiría en condensar una serie de observaciones similares en una especie de frase sumaria, ecuación, gráfica o valor numérico, por ejemplo la temperatura promedio mensual. La comunidad científica al realizar generalizaciones tiene construidos modelos teóricos antecedentes de referencia que permiten guiar sus observaciones.

En el caso del aula de la escuela primaria, los escolares no han construido aún estos modelos de referencia o son muy sencillos, por lo que resulta difícil que produzcan generalizaciones significativas para el modelo que se pretende que construyan. Esto implica una diferencia fundamental respecto al proceso de generalización propuesto por Pickett y colaboradores.

En la propuesta que aquí presentamos, para fines de organización de las ideas, se sitúan las generalizaciones como un primer momento para promover la construcción de modelos en el aula³. Éstas han de tener sentido para los escolares. La labor del docente ha de ser la de proponer experiencias que ayuden a producir generalizaciones que sean significativas para el alumnado y, a la vez, desde el modelo que se pretende construir. Esto conlleva un reto para los docentes dado que si bien la exploración del entorno y la ampliación de la experiencia de los escolares son importantes, éstos, sin ayuda del docente, difícilmente «descubrirán» los patrones significativos desde el modelo científico. El docente ha de ejercer una función de regulación para guiar las observaciones de los escolares y actuar como mediador entre sus observaciones y registros y el modelo científico escolar.

Partiendo del planteamiento de García (2005) (Figura 2), en el cual se aborda el estudio de los seres vivos consi-

derando un conjunto de tres modelos, proponemos que la generalización, a partir de la cual se realizan explicaciones causales, se ubique en cada modelo en diferentes niveles de organización escalares:

- Para *el modelo ecosistema* las generalizaciones de los fenómenos a explicar se encuentran situadas en el nivel de organización de *las comunidades y poblaciones*.
- Para *el modelo organismo*, las generalizaciones de los fenómenos a explicar se encuentran situadas en el nivel de organización de *los organismos*.
- Para *el modelo célula* las generalizaciones de los fenómenos a explicar se encuentran situadas en el nivel de organización de *las células*.

Como ya se mencionó, las generalizaciones son explicadas causalmente a través de los mecanismos y las restricciones. Incorporar las *restricciones* en la explicación implica introducir en una explicación, *con igual importancia*, el nivel superior de organización (restricciones o factores limitantes) y el nivel inferior de organización (mecanismos). Generalmente, se estudian los seres vivos atendiendo únicamente a los mecanismos explicativos. En el modelo organismo, por ejemplo, se estudian los órganos, los sistemas y sus funciones, poniendo poco énfasis en los cambios del medio y cómo ambos (mecanismos y restricciones) interactúan.

Las explicaciones: interrelación entre los mecanismos y las restricciones

Para definir que los factores limitantes o restricciones se encuentran en el nivel superior de organización, nos han sido útiles las ideas de Allen y Starr (1982). Estos autores establecen las relaciones entre dos entidades, entendiendo que una de ellas durante un proceso de comunicación restringe o limita *la velocidad* de respuesta de la otra. Estas dos entidades se identifican específicamente con las que producen la restricción y el mecanismo. El hecho de que la restricción se ubique en un nivel superior está definido por su capacidad de influir en la velocidad de respuesta de la otra entidad.

En estos términos la escala no se define únicamente en el plano espacial, sino también en el temporal y en el contextual. Un nivel escalar se genera en la interacción, por ello establecerlo *a priori* puede resultar una limitante, y nos puede llevar a caer en una visión reduccionista del proceso. Los niveles escalares tradicionales (átomo, molécula, célula, órgano, tejido, sistema, etc.) pueden ser de utilidad, sin embargo, es necesario considerar otras posibilidades.

En el trabajo realizado en el aula se encontró útil, como punto de partida, considerar las relaciones entre los tres modelos que se han planteado para definir, en cada uno, globalmente, los mecanismos y las restricciones (Tabla 1 y Figura 4).

Tabla 1

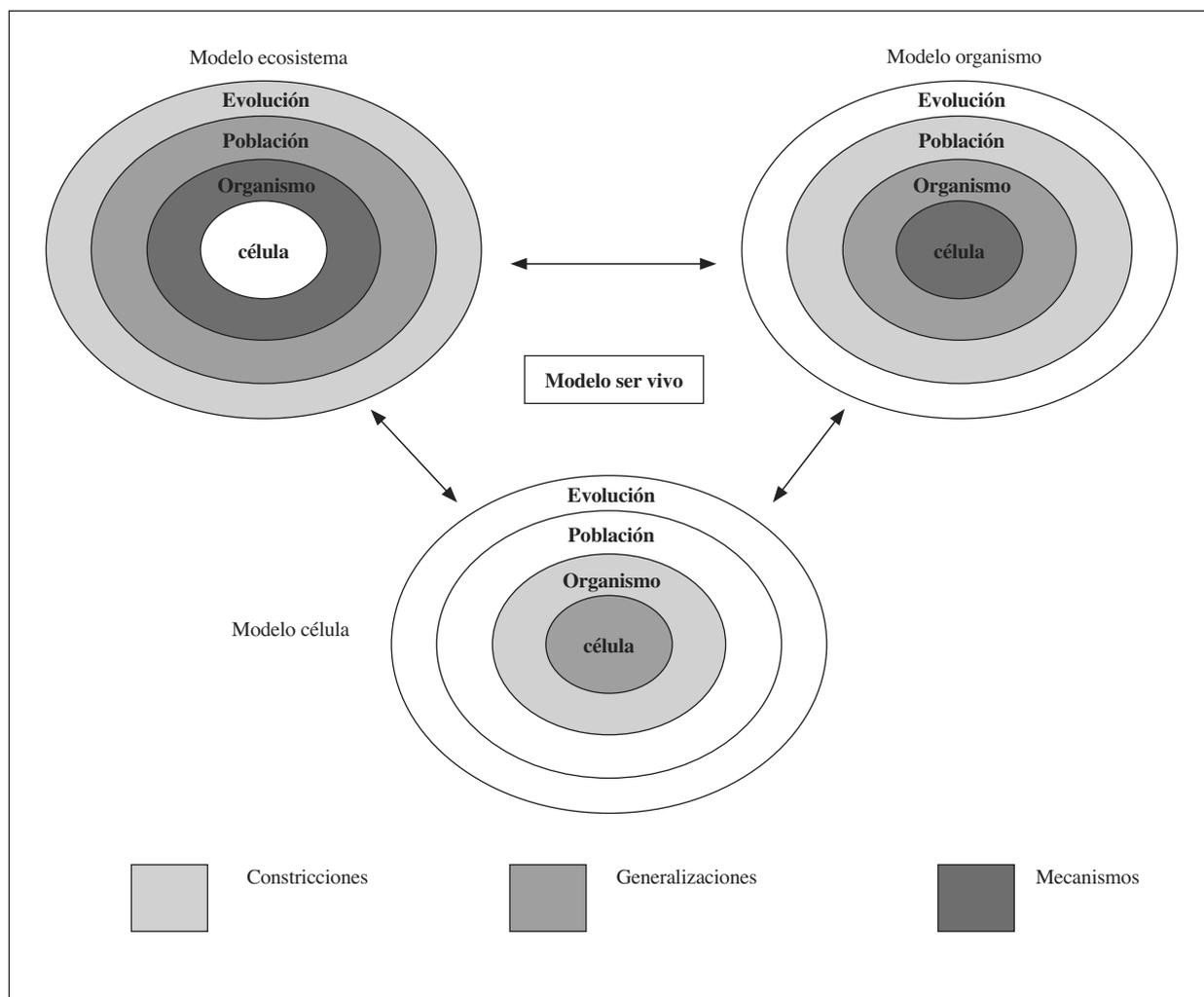
Niveles de organización para plantear generalizaciones, mecanismos y constricciones en los diferentes modelos de ser vivo.

	MODELO SER VIVO		
	Ecosistema	Organismo	Célula
Generalizaciones	poblaciones y comunidades	organismos	célula
Mecanismos	organismos	células, aparatos y sistemas	organelos
Constricciones	presiones selectivas y factores evolutivos	ecosistema	organismo

Figura 4

Propuesta de visión de escalas de observación para el modelo ser vivo.

Los mecanismos en el modelo célula estarían relacionados con el funcionamiento y estructura de los organelos y la membrana celular.



Cabe aclarar que en el desarrollo curricular estos modelos podrían introducirse de forma paulatina. Es decir, el modelo organismo puede trabajarse en el nivel de primaria, y en la secundaria el modelo ecosistema y el modelo célula. Sin embargo, no descartamos que algunas ideas de estos dos últimos modelos se puedan ir introduciendo en la escuela primaria.

c) La utilización de un mediador didáctico como herramienta metodológica

Otro elemento de interés en el planteamiento y desarrollo de la unidad didáctica fue la utilización de mediadores didácticos. Desde la visión que se ha presentado en torno al aprendizaje de los modelos científicos escolares, uno de los retos es cómo ayudar, desde la escuela, a su construcción. En el aprendizaje de los fenómenos biológicos, uno de los problemas a resolver es el relacionado con el hecho de que por su complejidad, y dado que ocurren en un amplio rango de escalas físicas y temporales, resulta difícil no sólo observarlos directamente, sino también construir representaciones con los niños y las niñas (Buckley, 2000).

En este sentido, fue de interés profundizar en la conceptualización y el análisis de herramientas útiles para generar mediaciones en el trabajo en el aula. Una de las líneas de investigación sugerente fue la relacionada con el uso de mediadores didácticos, entendidos como herramientas que ayudan a comprender nuevos conceptos e interpretar nuevos fenómenos, generando nuevas relaciones en el modelo.

Hemos definido como «mediador» aquel modelo analógico del modelo científico escolar que funciona como heurístico para ayudar, en las clases de ciencias, a pensar, experimentar y hablar sobre el mundo de los fenómenos que se identifican y analizan (Adúriz-Bravo, 2001; Gómez, 2002). Para la utilización en el aula del mediador, que es un modelo teórico de segundo orden (modelo *sobre* un modelo), se genera una *representación*. Los mediadores didácticos son elementos de naturaleza analógica o metafórica que facilitan establecer relaciones desde el modelo de sentido común hacia el modelo teórico escolar (Adúriz-Bravo et al., 2005).

En la UD se incorporó, como representación del mediador, la construcción de una maqueta tridimensional del bosque, en la cual los escolares simulaban un incendio forestal y el posterior proceso de sucesión. La maqueta dinámica fue siendo transformada por los escolares en función de sus argumentos y predicciones, constituyéndose una forma de trabajo práctico en el aula (Gómez, Pujol y Sanmartí, 2006). La elaboración y manipulación de la maqueta permitió construir paulatinamente la complejidad y hacerla accesible a los escolares.

La función mediadora de la maqueta consistió en permitir establecer relaciones entre un fenómeno complejo y las ideas de partida de los escolares. Inicialmente, durante su construcción, se consideró que las ideas de sentido común que los estudiantes tienen acerca del

mundo natural pueden resultar los proto-modelos teóricos iniciales a tener en cuenta en la clase de ciencias para el proceso de anclaje (Cubero y Luque, 2001). La tarea del profesorado de ciencias es conectar estas ideas con los modelos teóricos escolares, creando así un intertexto con los referentes culturales establecidos. La utilización de mediadores didácticos facilita a los docentes establecer dichas conexiones, y a los escolares, hablar de forma contextualizada sobre algo que están construyendo y manipulando en el aula, y al hacerlo, actuar y tomar decisiones (Gómez, 2005). Por otra parte, las preguntas surgidas durante su utilización van guiando la conversación, apoyando la función mediadora (Márquez et al., 2004).

La maqueta como representación mediadora apoya la generación de un pensamiento analógico. Esto permite a los estudiantes argumentar estableciendo relaciones entre sus experiencias y las nuevas que se le presentan durante la manipulación de la maqueta, así como entre sus ideas y las del modelo teórico. En la investigación realizada (Gómez, 2005), al analizar el discurso de los estudiantes y las profesoras durante las simulaciones sobre la maqueta, se encontró que ésta *mediaba* en tres dimensiones:

a) Entre las ideas de partida de los estudiantes y un fenómeno de difícil interpretación. La maqueta ayudaba a generar una representación significativa de un fenómeno complejo que transcurre en diferentes escalas espaciales y temporales. Usando esta representación, los escolares eran capaces de identificar fenómenos a explicar y, paulatinamente, iban incorporando las ideas abstractas del modelo organismo para interpretar esos fenómenos y transformarlos en hechos interpretados teóricamente.

b) Entre los modelos de partida de los estudiantes y los modelos de las profesoras (que se corresponden con el modelo científico escolar que se pretende que los estudiantes construyan). La actividad alrededor de la maqueta generaba espacios de conversación donde era posible que las profesoras ejercieran una regulación de las ideas construidas por los estudiantes y apoyarles en la construcción del modelo teórico de organismo.

c) Entre los diferentes niveles de construcción del modelo organismo por parte de los estudiantes. La maqueta permitía mantener un punto de retorno al cual se volvía tras la construcción de cada nuevo significado, y por tanto, diversos momentos para que los estudiantes se incorporaran a la argumentación. También permitía que ellos escucharan a sus compañeros, explicaran y actuaran de forma colectiva, tanto en la construcción como en la transformación de la representación del mediador (la maqueta).

Los elementos (seres vivos) presentes en la maqueta hubieron de ser cuidadosamente planificados por las docentes para posibilitar la conexión con las ideas de partida de los escolares, sin dejar de lado las relaciones entre seres vivos y medio y la complejidad del fenómeno tratado.

La descripción de la propuesta de trabajo en el aula

La unidad didáctica que hemos venido fundamentando se aplicó en la escuela Coves d'en Cimany, situada en la ciudad de Barcelona. El profesorado de esta escuela participaba en un plan de formación que tenía por finalidad abordar la enseñanza de las ciencias desde la idea de construcción de modelos anteriormente expuesta. Las clases fueron impartidas por la profesora Teresa Pigrau y la primera autora de este artículo.

En dicho contexto se realizaron las actividades de la UD en dos grupos de 5º grado de primaria (11 años), de septiembre a diciembre de 2003. En cada grupo se realizaron dos sesiones semanales: una de hora y media, y otra de una hora de duración, con un total de veinte horas. También se realizó una salida de un día al bosque de la montaña de Montserrat.

El esquema guía para las actividades

Partiendo de los referentes explicitados y de experiencias didácticas anteriores relacionadas con la enseñanza del modelo ser vivo, así como de las ideas que los escolares ya habían elaborado en otros cursos, en la propuesta se pretendía:

- Profundizar en el modelo organismo.
- Apoyar la construcción de ideas en torno a dicho modelo al interpretar una perturbación ambiental: el incendio forestal.

- Promover la integración de tres escalas de observación, o niveles de organización, para llegar a la comprensión del problema objeto de estudio.

- Relacionar las explicaciones que se generarían con las acciones de las personas en el medio (individuales y colectivas) con la finalidad de capacitar para la acción (Pujol, 1998), desde una perspectiva de educación ambiental. Relacionarlo, muy especialmente, con la cooperación para aprender y para resolver problemas.

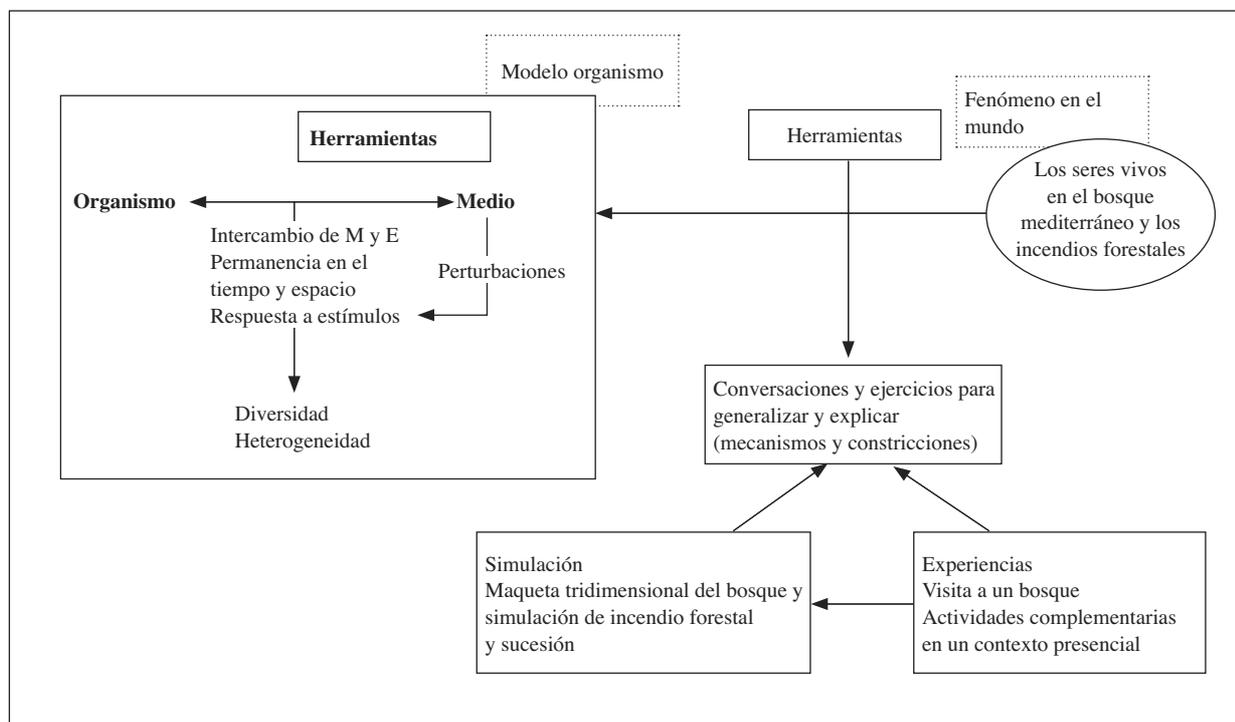
- Promover el pensamiento complejo, evidenciando la complejidad de las interacciones medio - organismo, y la diversidad de formas de desarrollar las funciones nutrición, relación y reproducción.

El esquema que guió las actividades se presenta en la figura 5. Se buscaba construir un modelo que permitiera entender el fenómeno de los incendios forestales e intervenir, en este caso, con propuestas de gestión.

El diseño de la unidad didáctica: Cuatro grupos de actividades

El diseño general de la unidad didáctica se presenta en el anexo. En él, las actividades están organizadas de acuerdo con su intencionalidad didáctica. En este apartado se desarrollan algunas ideas sobre cuatro tipos de actividades que fueron fundamentales en la construcción del modelo. El segundo, el tercer y el cuarto grupo de actividades planteadas pueden ser realizadas simultánea-

Figura 5
Fundamentos del proceso de modelización en la unidad didáctica diseñada.



mente, apoyándose unas en otras. Como ya comentamos se puede consultar la descripción detallada de las actividades en Gómez y Pigrau (2005).

Para plantear el problema objeto de estudio y compartir con los alumnos las razones del trabajo a realizar en los próximos días se partió de una noticia del periódico. En ella se daba a conocer una organización civil (plataforma CENDRA) que pretendía promover una gestión ambiental orientada a prevenir y afrontar las consecuencias de los incendios forestales habidos en la zona el verano anterior. La situación provocó que un grupo de estudiantes se posicionara solicitando su participación. Ello condujo a plantearse colectivamente qué se sabía sobre los incendios forestales y la necesidad de comprender mejor dicho fenómeno para poder realizar propuestas fundamentadas.

Una de las actividades finales de la UD comportó la elaboración de una carta con sugerencias para prevenir incendios y gestionar zonas quemadas, que fue dirigida a la asociación civil y al ayuntamiento de la población más castigada por los incendios. Estas actividades corresponden a las 1.1., 1.2., 1.3. y 5.1., del anexo.

El primer grupo de actividades, que corresponde a la actividad 2.1. del anexo, tenía como finalidad construir un esquema de orientación que interrelacionara las tres ideas generales del modelo organismo. Dicho esquema se construyó partiendo de un ejercicio sobre «¿qué comparten todos los seres vivos?», el cual reflejaba las ideas de los escolares respecto a las actividades compartidas por todos los seres vivos y las interrelaciones entre ellas. El conjunto

de estas actividades constituye momentos iniciales de la UD dado que en las restantes actividades el esquema se utilizó como guía para orientar las observaciones respecto a qué sucede con los seres vivos cuando hay un incendio. Un ejemplo del esquema elaborado por consenso en una clase⁴ se presenta en la figura 6.

Este grupo de actividades comportó la discusión y confrontación de ideas y fue el punto de partida para la incorporación de lenguaje científico por parte del alumnado (Gómez y Sanmartí, en prensa).

Para la discusión sobre la función de nutrición, las docentes tomaron como referencia las ideas de Cañal (2005). Este autor hace énfasis en la nutrición autótrofa de las plantas caracterizada por la producción de los propios alimentos a partir de sustancias que captan del entorno, que no serían alimentos, y la heterótrofa, típica de los animales, caracterizada como captación y digestión de alimentos sólidos y líquidos con capacidad de proporcionar energía metabólica al animal.

Un segundo grupo de actividades que apoyaron la construcción del modelo giraron en torno a la elaboración y manipulación por parte de los escolares de una maqueta tridimensional del bosque mediterráneo, actividades 2.2., 2.3. y 3.1., del anexo. Los alumnos construyeron la maqueta situando los distintos seres vivos en función de la argumentación sobre sus necesidades de nutrición, relación y reproducción. También al simular el incendio y sus consecuencias debían de fundamentar los cambios introducidos, justificándolos en función del modelo organismo (Ilustración 1).

Figura 6
Esquema de orientación elaborado en consenso entre alumnos y maestras para guiar las conversaciones en la unidad didáctica propuesta.

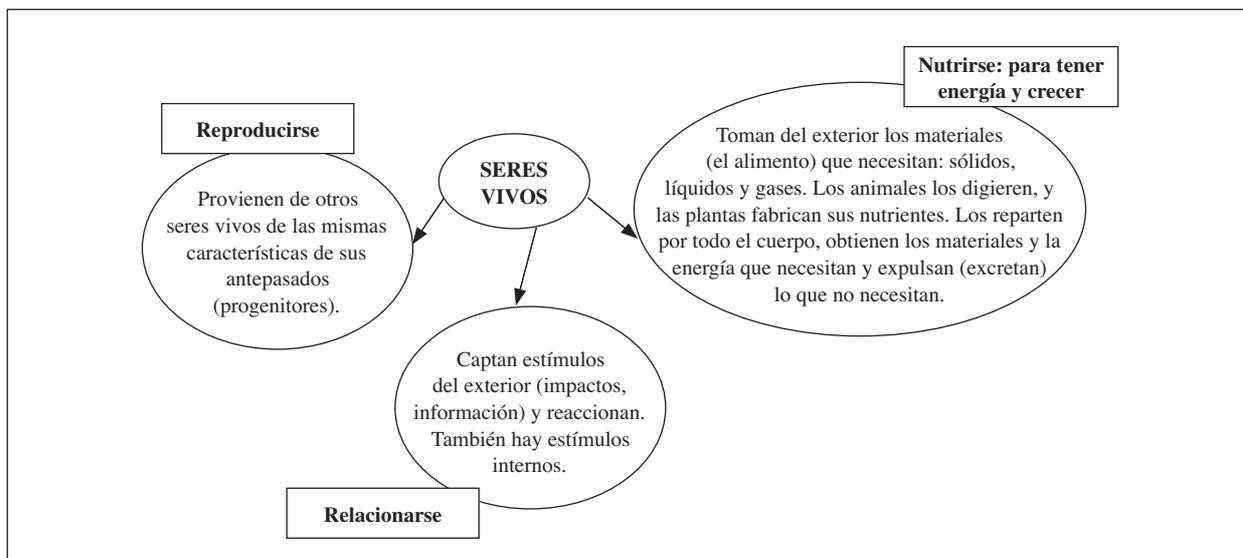
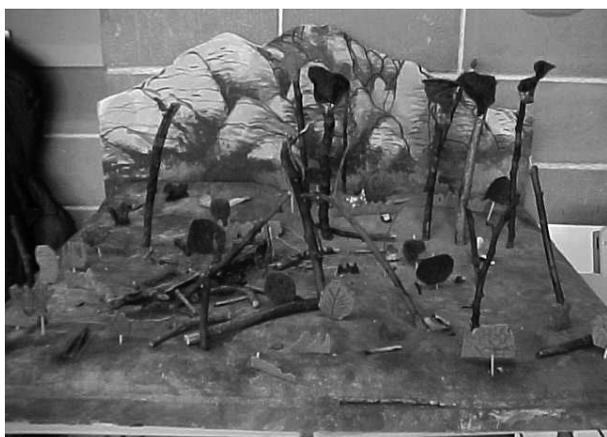


Ilustración 1

Maqueta montada y posteriormente manipulada simulando la perturbación de incendio forestal.



En la planificación de la maqueta se consideró cuáles son los seres vivos conocidos por los escolares, cuáles son significativos para interpretar un incendio forestal (se incorporó el pino y el alcornoque, por su respuesta diferencial en un incendio) y también, cuáles se observarían durante la visita planificada al bosque mediterráneo de la zona.

Para que la maqueta funcionara como un mediador fue necesario propiciar en el aula el desarrollo de habilidades comunicativas y la regulación. Tanto al construir como al manipular la maqueta, la argumentación se reguló tomando en cuenta las tres ideas básicas a construir sobre los organismos: reproducción, nutrición y relación. Durante el análisis del proceso se valoró el trabajo en grupos cooperativos como estrategia para promover la regulación de representaciones, buscando que los niños y las niñas vieran en la maqueta un punto de referencia entre la representación del grupo y la suya propia.

En cada simulación en la maqueta se manejaron algunas «reglas del juego», es decir, cosas que se podían o no se podían hacer. Estas reglas, generadas a veces por

las maestras y otras por los propios escolares, buscaban que los escolares establecieran una relación entre lo que pensaban, lo que argumentaban y lo que hacían. Por ejemplo, durante el montaje de los árboles se tomaron en consideración las características de las semillas (tamaño, forma y peso) para su posible dispersión y las necesidades de germinación (luz y humedad) para su distribución espacial. Estos dos elementos (semilla y germinación) debían ser considerados en las argumentaciones y decisiones respecto al lugar en que los escolares iban colocando los prototipos de árboles elaborados.

El tercer grupo de actividades planteadas, para reforzar la construcción del modelo organismo, incluyó el planteamiento de experiencias complementarias, actividades 2.4., 2.5. y 2.6., del anexo. Éstas, de tipo experiencial y directo, fueron necesarias para que los niños y las niñas incorporaran algunas entidades y relaciones nuevas del modelo (Ogborne et al., 1998). Por ejemplo, en el caso de respuesta a estímulos, se plantearon actividades sensoriales donde los escolares identificaron los estímulos, las respuestas y el cerebro como responsable de la transformación de la información.

Finalmente, el cuarto grupo de actividades hace referencia a la visita al bosque, actividades 4.1., 4.2. y 4.3., del anexo. Éste permitió a los escolares establecer vínculos entre su experiencia directa, lo representado en la maqueta, y las simulaciones que de su manipulación se derivaban.

En la visita los escolares pudieron establecer vínculos con sus experiencias anteriores y ampliarlas. Al realizarla se reconoció la flora y la fauna mediterránea y se hicieron comparaciones con la representación de la maqueta. Dado que los incendios son frecuentes, en la visita realizada se estudiaron diversas zonas que se encontraban en diferentes momentos de la sucesión generada tras un incendio. Esta actividad incluyó juegos sensoriales, de identificación y de registro de abundancias relativas y especies presentes.

En los cuatro grupos de actividades resultó fundamental tomar en cuenta la gestión de las ideas desde la visión de escalas aquí propuesta. Así mismo, se detectó que fueron claves algunas preguntas planteadas a lo largo de las actividades. Ejemplos son las preguntas siguientes, dirigidas a la construcción del modelo organismo.

En el caso de *las generalizaciones*, la pregunta «¿qué sucede con los seres vivos durante un incendio?» resultó ser clave. Con sub-preguntas tales como «¿para las plantas sucede lo mismo?», «¿cómo lo hacen las plantas?», se conseguía que las generalizaciones cada vez abarcaran más. Cuestiones tales como «¿si los animales lo hacen así, cómo lo harán las plantas?», propiciaban las unificaciones. Durante el proceso, las generalizaciones de los estudiantes partían de lo más próximo (humanos) y se iban extendiendo paulatinamente, con la ayuda de las docentes, a otros ámbitos (animales y plantas).

En el caso de *los mecanismos*, la pregunta: «¿qué sucede dentro del cuerpo de los seres vivos para que pase eso (refiriéndonos a la generalización ya realizada)?» resul-

tó esencial. Sub-preguntas del tipo «¿cómo podemos llamar a eso que explicas?», «¿qué sucede después?», posibilitaban profundizar en los procesos o crear nuevas entidades.

Para las *constricciones*, las preguntas esenciales fueron del tipo: «¿qué sucede en el ambiente, fuera del ser vivo?», «¿qué cosas han cambiado para que suceda esto (refiriéndose a la generalización)?». En este caso sub-preguntas tales como: «¿cuándo se dan estos cambios, qué sucede «dentro» de este ser vivo?», «¿será lo mismo para este otro?», abrían la posibilidad de que los escolares estableciesen relaciones entre los mecanismos y las constricciones, y con la diversidad.

Si bien a lo largo del desarrollo de la unidad didáctica la gestión de la conversación y las actividades propuestas variaron en función de los intereses y niveles del grupo clase con el que se trabajaba, siempre se buscó la argumentación, desde una participación activa de escolares y docentes. La función de las docentes fue la de plantear preguntas que permitieran, por un lado, ampliar las ideas relacionadas con cada uno de los niveles escalares (mecanismos, generalizaciones y constricciones) y, por otro, establecer relaciones causales entre niveles.

Los escolares expresaban sus modelos mentales manipulando la maqueta, gesticulando y hablando alrededor de ella. Consideramos que la maqueta, como representación colectiva del modelo que se iba construyendo, permitió intervenir en la evolución de las ideas de los niños y las niñas. Ésta fue el referente común que posibilitaba tomar decisiones argumentadas y consensuadas colectivamente. Aunque un modelo mental puede tener diversas representaciones (maquetas, dibujos, etc.), apoyamos la idea de que el modelo y las representaciones están interrelacionados y son interdependientes, evolucionando conjuntamente (Tamayo, 2006). Por ello, consideramos que es posible apoyar la evolución de los modelos a través de la evolución de las representaciones usadas en el aula.

CONSIDERACIONES FINALES

La didáctica de las ciencias como campo emergente de investigación y acción tiene la necesidad tanto de generar conocimiento práctico, que brinde opciones sobre el qué hacer, como, al mismo tiempo, de sustentar teóricamente dicho quehacer. La complejidad en la toma de decisiones relacionada con los procesos de enseñanza no permite plantear soluciones únicas ni recetas de acción. En ese contexto, la reflexión aquí presentada tiene la finalidad de mostrar el por qué y el cómo de una propuesta para

la interpretación de los incendios forestales utilizando el modelo escolar ser vivo. La reflexión teórica de una serie de tres unidades didácticas llevadas al aula nos permitió la identificación de obstáculos y nos llevó a la adaptación de marcos provenientes de otras áreas, para enriquecer el propio de la didáctica de las ciencias.

El resultado del trabajo realizado y de su análisis nos permite decir que en la forma como se planifican y llevan al aula las actividades tendientes a promover la construcción del modelo ser vivo puede ser incorporada una visión de escalas de organización de forma interrelacionada para generar explicaciones causales. Ello nos permitió diferenciar tres modelos de ser vivo que se construyen partiendo de diferentes relaciones escalares. Incorporar los tres niveles de observación escalar posibilitó considerar en el aula la complejidad de los fenómenos.

Por otra parte, la maqueta, como representación de un modelo analógico, es una herramienta que ayudó a la gestión de la conversación en el aula, permitiéndonos poner énfasis en la interacción entre los seres vivos y el medio y tomar en consideración la multicausalidad.

Actualmente, trabajamos sobre la construcción de significados en torno a la función de relación, debido a que en los resultados obtenidos tras el análisis de esta UD identificamos que era un área que requería especial atención. Para ello, continuamos utilizando tanto la visión de modelización y ciencia escolar y las escalas de observación aquí propuestas, como diversas representaciones semióticas como mediadores didácticos.

NOTAS

¹ Hemos traducido *nested* como *anidada* considerando que el diccionario Oxford (Crowther, 1999) indica: «*nest: group or set of similar things of different sizes made to fit inside each other*», como las muñecas rusas que encajan unas dentro de otras. En la biología la palabra *anidada* se ha utilizado para referirse a un grupo de elementos relacionados y que se condicionan mutuamente.

² Hemos utilizado la palabra *constricción* siguiendo a Terradas (2001: 98), quien así la traduce de la palabra inglesa *constraints*. Él cita a Pickett y colaboradores, quienes al hablar de constricciones, las entienden en el sentido descrito por Allen y Starr (1982).

³ La generación de explicaciones fue un proceso dinámico en el que en numerosas ocasiones se inició, con una generalización, pero en algunas ocasiones se presentó primero el mecanismo o la constricción.

⁴ Cada clase elaboró el propio, utilizando las palabras y expresiones que se consensuaron con la totalidad del grupo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2001). «Integración de la epistemología en la formación inicial del profesorado de ciencias». Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- ADÚRIZ-BRAVO, A., GÓMEZ, A., MÀRQUEZ, C. y SANMARTÍ, N. (2005). La mediación analógica en la ciencia escolar: Propuesta de la «función modelo teórico». *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 1-5.
- ALLEN, T. y STARR, T. (1982). *Hierarchy. Perspectives for ecological complexity*. Londres: Chicago Press.
- ARCÀ, M., GUDONI, P. y MAZZOLI, P. (1990). *Enseñar ciencias*. Barcelona: Paidós Educador.
- BUCKLEY, B. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 895-935.
- CAÑAL, P. (2003). ¿Qué investigar sobre los seres vivos? *Investigación en la escuela*, 51, pp. 27-38.
- CAÑAL, P. (2005). *La Nutrición de las Plantas: Enseñanza y Aprendizaje*. Madrid: Síntesis.
- CAREY, S. (1992). The origin and evolution of everyday concepts, en Giere, R.N. (ed.). *Cognitive models of science*. USA: University of Minnesota Press.
- COLL, C. (1991). *Psicología y currículum*. Barcelona: Paidós.
- CROWTER (1999). *Oxford dictionary*. UK: Oxford Press.
- CUBERO, R. y LUQUE, A. (2001). Desarrollo, educación y educación escolar: la teoría sociocultural del desarrollo y del aprendizaje, en Coll, C. (comp.). *Desarrollo psicológico y educación, 2. Psicología de la educación escolar*. Madrid: Alianza.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHEN, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- ESPINET, M. y PUJOL, R.M. (2003). Innovar a l'aula d'educació infantil i primària: El treball sobre la reproducció dels éssers vius. Conclusions d'experiències. Seminario-Taller de Educación Científica La reproducció dels éssers vius. Museo de Ciencias de Barcelona. Barcelona.
- GARCÍA, P. (2005). Los modelos como organizadores del currículum de biología. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, pp. 1-6.
- GARCÍA, P. y SANMARTÍ, N. (1998). Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en biología. *Alambique*, 16, pp. 8-20.
- GIERE, R.N. (1992a). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Conacyt, Ciencia Básica.
- GIERE, R.N. (ed.). (1992b). *Cognitive models of science*. USA: University of Minnesota Press.
- GIERE, R.N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, pp. 63-70.
- GÓMEZ, A. (2002). «Reflexiones sobre la utilización de un modelo mediador didáctico como herramienta auxiliar en la construcción del modelo de ser vivo en niños y niñas de nueve años». Treball de recerca, Universidad Autónoma de Barcelona.
- GÓMEZ, A. (2005). «La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: Una visión escalar». Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- GÓMEZ, A. y PIGRAU, T. (2005). Los seres vivos y los incendios forestales. Un nuevo enfoque del estudio de los seres vivos y el medio. *Praxis, Educación primaria, Orientaciones y Recursos*, 11, pp. 103-124.
- GÓMEZ, A., PUJOL, R. y SANMARTÍ, N. (2006). Pensar, actuar y hablar sobre los seres vivos alrededor de una maqueta. *Alambique*, 47, pp. 48-55.
- GÓMEZ, A. y SANMARTÍ, N. (en prensa). Transformation of everyday language into scientific language in primary school children. Actas de Eridob, Londres 2006.
- GÓMEZ, A., SANMARTÍ, N. y PUJOL, R. (2005). Construcción de explicaciones causales en la escuela primaria: los seres vivos en interacción con el medio. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, pp. 1-5.
- GÓMEZ, A., SANMARTÍ, N. y PUJOL, R. (2006). Explaining events in the environment to primary school students. *Journal of Biological Education*, 40(4), pp. 149-154.
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., GARCÍA, M., PUJOL, R. y SANMARTÍ, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, pp. 79-91.
- KITANO, H. (2002). System Biology: A brief overview. *Science*, 295, pp. 1.662-1.664.
- LESGOLD, A. (2004). Contextual requirements for constructivist learning. *International Journal of Education Research*, 41, pp. 495-502.
- MARGULIS, L. y SAGAN, D. (1997). *¿Qué es el sexo?* Barcelona: Tusquets.
- MÁRQUEZ, C., ROCA, M., GÓMEZ, A., SARDÀ, A. y PUJOL, R. (2004). La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras. *Investigación en la escuela*, 53, pp. 71-81.
- MENEGAZ, A. y MENGASCINI, A. (2005). El concepto de niveles de organización de los seres vivos en contextos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 1-5.
- NERSESSIAN, N. (1992). Conceptual change in science and science education. *Syntese*, 80, pp. 163-186.
- NORRIS, S., GUILBERT, S., SMITH, M., HAKIMELAHI, S. y PHILLIPS, L. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89, pp. 535-563.

- OGBORNE, J., GUNTHER, K., MARTINS, M. y NcGILLI-CUDDY, K. (1998). *Formas de explicar la enseñanza de las ciencias en secundaria*. España: Santillana.
- PICKETT, S., KOLASA, J. y JONES, C. (1994). *Ecological understanding*. USA: Academic Press.
- PICKETT, S. y WHITE, P. (1985). *The ecology of natural disturbances and patch dynamics*. Londres: Academic Press.
- PUJOL, R. (1998). «Modelos de integración de la educación del consumidor en el currículum escolar un análisis desde el área de ciencias». Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- PUJOL, R.M. (2003). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Madrid: Síntesis.
- RODRIGO, M. y CUBERO, R. (2000). Constructivismo y enseñanza de las ciencias, en Perales, P. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alicante: Marfil.
- RODRIGO, M., RODRÍGUEZ, A. y MARRERO, J. (1993). *Las teorías implícitas. Una aproximación al conocimiento cotidiano*. Barcelona: Aprendizaje Visor.
- SANMARTÍ, N. (2000). El diseño de unidades didácticas, en Perales, P. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alicante: Marfil.
- TAMAYO, O. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Educación y Pedagogía*, 18(45), pp. 37-49.
- TERRADAS, J. (2001). *Ecología de la vegetación*. España: Omega.
- VARELA, F. (1995). Haciendo camino al andar, en Levelock, J. et al. *Gaia, implicaciones de la nueva biología*. 3ª ed. Barcelona: Cairós.
- VESSLIN, J. (1988). Quels texts scientifiques espere-t-on voir les elves écrire? *Aster*, 6, pp. 91-127.
- WEIZS, B.P. (1975). *La ciencia de la biología*. Barcelona: Omega.
- YING-TIEN, W. y CHING-CHUNG, T. (2005). Development of elementary school students' cognitive structures and information processing strategies under long-term science instruction. *Science Education*, 89, pp. 822-846.

[Artículo recibido en marzo de 2006 y aceptado en febrero de 2007]

ANEXO

Los seres vivos y los incendios forestales.

