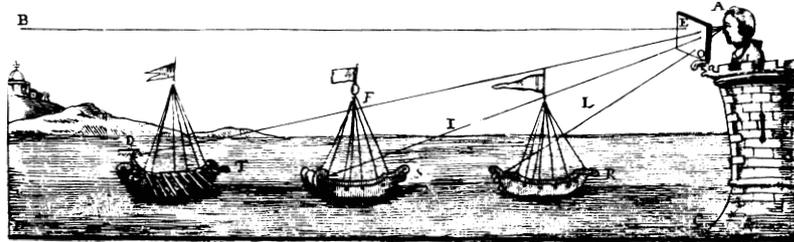


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



LA PROGRESIÓN EN EL APRENDIZAJE DE DOMINIOS ESPECÍFICOS: UNA PROPUESTA PARA LA INVESTIGACIÓN¹

PRIETO RUZ, TERESA, BLANCO LÓPEZ, ÁNGEL y BRERO PEINADO, VITO-BATTISTA
Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n. 29071 Málaga
ruz@uma.es

Resumen. El estudio sobre la progresión de los alumnos en su aprendizaje de conceptos científicos ha sido destacado, en la última década, como un área de investigación con importantes implicaciones didácticas, en concreto, con gran relevancia en la selección y secuenciación de contenidos y en el desarrollo de enfoques de enseñanza. En este trabajo se presenta una propuesta para la investigación de la progresión en dominios específicos. El esquema integra estudios teóricos y empíricos que requieren definir un modelo y contrastarlo con los datos.

Palabras clave. Aprendizaje de conceptos, progresión de los alumnos, propuesta de investigación, validación del modelo.

Summary. Progression in students' development of science concepts has been pointed out in the last decade as a relevant issue in science education research with many implications in curriculum development as well as in teaching approaches. In this paper, a proposal for developing research about students' progression in specific domains is portrayed. The scheme integrates theoretical and empirical studies, which demand to define a model of progression and to test it.

Keywords. Concept learning, student progression, proposal for research, validation of model.

INTRODUCCIÓN

En el marco de las investigaciones sobre las concepciones de los alumnos, comenzaron a generarse a finales de la década de los ochenta numerosas revisiones y re-

flexiones sobre la necesidad de extraer consecuencias y aplicaciones de la gran cantidad de datos empíricos que se estaban produciendo. De ellas, entre otros aspectos,

surgieron propuestas sobre las nuevas orientaciones que las investigaciones deberían tomar para que este campo progrese más allá de ofrecer un catálogo de las concepciones de los alumnos sobre una amplia variedad de temas (Prieto y Blanco, 1997).

Driver (1989) apuntaba el *estudio de la progresión conceptual* como una de las direcciones a seguir, resaltando la relevancia de las investigaciones dirigidas a diagnosticar los cambios que experimentan las concepciones de los alumnos en dominios específicos. Black y Simon (1992) llamaban la atención sobre los pocos estudios realizados hasta entonces cuyo objetivo fuese «ordenar las ideas de los alumnos en una secuencia hipotética de transición desde sus concepciones más iniciales hasta las ideas científicas, y la práctica inexistencia de trabajos consistentes en evaluar este tipo de hipótesis mediante estudios longitudinales». Por su parte, Niedderer, Goldberg y Duit (1992), al proponer una agenda de investigaciones prioritarias en el aprendizaje de la física, incidían en la «necesidad de documentar trayectorias de aprendizaje para diferentes áreas de contenidos».

Desde un principio se ha considerado que estas investigaciones, además de su valor intrínseco para conocer cómo se desarrolla la comprensión, podrían iluminar el trabajo en áreas como la planificación del currículo o los enfoques en la enseñanza:

«Las investigaciones sobre la progresión son importantes porque podrían conducir a otras bases, más fuertemente ancladas en datos empíricos o teorías, que puedan proporcionar mejores orientaciones a los profesores (y a otros, tales como autores de textos y diseñadores de currículo) para tomar decisiones sobre las secuencias adecuadas de hechos y experiencias a presentar a los alumnos.» (Millar, Gott, Lubben y Duggan, 1993).

«Una vez que comencemos a comprender mejor cómo progresan las ideas de los niños en dominios particulares de ciencias, estaremos en mejor disposición para desarrollar enfoques de enseñanza que favorezcan esa progresión.» (Scott, 1992).

Estas citas destacan la relación existente entre la progresión de los alumnos en su aprendizaje y la secuenciación y presentación de los contenidos. En el Reino Unido, la preocupación por la progresión en el aprendizaje fue dinamizada por la implantación del National Curriculum para Inglaterra y Gales, una de cuyas ideas claves radica en la secuenciación (Adey, 1997). En sus recomendaciones, la administración educativa (DES, 1988) indicaba que el currículo debería promover criterios y referencias que sirviesen de guía a la progresión en el aprendizaje y de apoyo a la evaluación formativa. Al concretar estas ideas se optaba por dividir cada una de las materias en un cierto número de niveles, objetivos específicos, conocimientos y habilidades a alcanzar por los alumnos (*attainment targets*), expresados como definiciones de criterios y ordenados en una secuencia de diez, asumiendo que los alumnos progresarían por ellos a diferentes ritmos.

Los criterios adoptados en el diseño de este currículo planteaban cuestiones fundamentales sobre la progresión en el aprendizaje y sobre los efectos de la enseñanza en la misma (Black y Simon, 1992). Sin embargo, desde un principio se pudo apreciar que la idea de progresión era más problemática de lo que se estaba reflejando. Adey (1997) señala tres problemas «intrínsecos» de capital importancia:

- 1) La imposibilidad de secuenciar de forma plausible en una escala lineal muchos de los conocimientos y habilidades incluidos en los programas de las materias.
- 2) La excesiva simplicidad y escasa utilidad del supuesto de que el desarrollo de los alumnos en cada materia progresa ordenadamente a través de una serie de niveles (en este caso 10).
- 3) La escasa precisión con que muchos de los criterios aparecían establecidos, lo que inducía a que los profesores los pudiesen interpretar de diferentes formas.

Según Adey, debilidades como éstas muestran la necesidad de replantearse, con visión actualizada, un problema que tradicionalmente viene siendo fundamental: ¿puede el conocimiento de cualquier materia ser ordenado en una jerarquía que favorezca su comprensión? En caso de respuesta afirmativa, es preciso profundizar en la investigación que conduzca a determinar bases psicológicas y epistemológicas para tal jerarquía. Al diagnosticar estas necesidades, lo que Adey confirma es la relevancia de las que ya habían sido apuntadas por Driver, Scott, Black y Simon, entre otros, sobre la urgencia de disponer de datos experimentales y de mayores perspectivas teóricas con las que fundamentar la progresión en el currículo y la comprensión de los alumnos, razones que han impulsado las investigaciones en este campo (Tytler, 2000).

Siguiendo esta línea de reflexión presentamos una propuesta para el estudio de la progresión en dominios específicos basada en nuestra investigación y análisis propios. Previamente, se realizan algunas precisiones sobre los términos *progresión* y *secuenciación de contenidos*, delimitando el significado de *progresión en dominios específicos* sobre el que se centra este trabajo.

PROGRESIÓN Y SECUENCIACIÓN DE CONTENIDOS

En cualquier tarea de secuenciación de contenidos siempre están presentes, implícita o explícitamente, algunas ideas sobre cómo progresan los alumnos en su aprendizaje (Millar et al., 1993). En las clases de ciencias se realizan actividades que el profesor o los diseñadores de materiales escolares han ordenado temporalmente aplicando determinados criterios. Los profesores juzgan sobre la pertinencia de los mismos en función de gran cantidad de conocimiento intuitivo sobre el aprendizaje y las materias a enseñar, normalmente basado en expe-

riencias personales y en la tradición de los libros de texto. Como resultado, se toman decisiones sobre lo que es apropiado a ciertas edades o etapas, lo que debe tratarse antes y lo que debe dejarse para después... Fensham (1994) ilustra estas ideas con las nociones de *progresión* asumidas en algunos de los grandes proyectos curriculares de los años sesenta y setenta, destacando cómo, en éstos, la noción de *progresión* se fundamentaba en la naturaleza de la ciencia o en la lógica interna de la disciplina.

Un concepto relacionado con la progresión y la secuenciación de los contenidos es el de «continuidad», término que hace referencia a la necesidad de que la organización de la materia a enseñar responda a una planificación, cuidadosa y adecuada, que garantice la continuidad en el aprendizaje de tal modo que las ideas de los alumnos progresen en la medida en que es deseable (Driver, Squires, Rushworth y Wood-Robinson, 1994a). Con la

noción de *continuidad* se pretende aportar criterios para estructurar las ideas y las experiencias que se presentan a los alumnos de manera que no se produzcan saltos o lagunas que éstos no puedan superar.

«Progresión» y «continuidad» representan dos claves a la hora de diseñar y desarrollar el currículo. Para atenderlos simultáneamente, puede ser útil pensar en términos de ayudar a los alumnos a cubrir un cierto número de pequeñas etapas que les conduzcan a la adquisición de grandes ideas, teniendo en cuenta que algunas de ellas pueden plantear dificultades importantes. Así, por ejemplo, en el aprendizaje sobre la naturaleza de la materia, los estudiantes se mueven a partir de una visión primitiva, en la cual las cosas materiales pueden aparecer y desaparecer (visión que puede considerarse una etapa en la construcción de sus ideas sobre las transformaciones de la materia), y la superación de este modelo no resulta, ni mucho menos, un cambio trivial para ellos.

Figura 1
Ejemplos de progresión en el currículo para dos conceptos de ecología (adaptada de Barker y Slingsby, 1998).

Edad	Conceptos	
7- 11 años	<p style="text-align: center;">Biodiversidad</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nombrar cosas por su nombre común - Qué es la naturaleza - Nombres científicos - Clasificación en grandes grupos 	<p style="text-align: center;">Ecosistemas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reconocer hábitats tales como un bosque, una charca...
11-14 años	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas jerárquicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Perturbaciones y contaminación en las cadenas alimentarias
14-16 años	<ul style="list-style-type: none"> - Clases de artrópodos y vertebrados 	<ul style="list-style-type: none"> - Microbios y descomposición
16 en adelante	<ul style="list-style-type: none"> - Importancia de la biodiversidad - Términos como <i>cordados, angiospermas o monocotiledoneas</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Pirámide de biomasa y energía - Flujo de energía (cuantitativo) - Detalles de los ciclos de materia - Estabilidad y cambios en los ecosistemas - Tratamiento avanzado de las perturbaciones - Procesos estocásticos

Estas consideraciones nos muestran por qué una de las mayores preocupaciones de los diseñadores del currículo radica en asegurar que la materia a enseñar sea secuenciada, ordenada y presentada de tal forma que favorezca y promueva la progresión en el aprendizaje y la necesidad de apoyarse en modelos sobre cómo éste se produce (Taber, 1995; Watson y Leach, 1996; Adey, 1997; Cañal, 1997; García, 1997; Baker y Slingsby, 1998; Crossland, 1998).

El modelo de Barker y Slingsby, para la progresión de los conceptos clave en ecología a lo largo del período comprendido entre los 5 y los 19 años, nos sirve de ejemplo para ilustrar esta secuenciación. Estos autores, tras hacerse eco de los resultados de las investigaciones sobre las concepciones de los alumnos y las propuestas de diferentes currículos, representan la progresión en el currículo de los conceptos de ecología mediante filamentos paralelos, en los cuales, el mayor o menor énfasis en el tratamiento de un concepto –en un momento determinado– es representado por la anchura del filamento respectivo (Fig. 1).

Así, el concepto de *biodiversidad* podría ser trabajado ampliamente en los primeros años (filamento ancho en las edades comprendidas entre los 7 y los 14 años) mediante la identificación de especies, su clasificación, su denominación científica y su organización en sistemas jerárquicos; mientras que la comprensión por parte de los alumnos de la importancia del concepto de *biodiversidad* llegará mucho más tarde.

A diferencia del anterior, el concepto de *ecosistema* comenzaría con un filamento delgado desde los 7 a los 14 años, período durante el cual sólo son asequibles a los alumnos ciertos contenidos de carácter fundamentalmente factual como: diferentes especies y su hábitat, perturbaciones en la red alimentaria y contaminación, o microbios y descomposición. Es sólo a partir de los 15 años cuando parece indicado dedicar más tiempo a aspectos de gran complejidad como: flujos de energía, ciclos de materia, cambios y estabilidad, y un tratamiento avanzado de las perturbaciones de los ecosistemas (filamento ancho a partir de los 15 años).

A pesar de esta representación, en el modelo se reconoce que la progresión es un proceso no lineal y se consideran implícitas, en el mismo, las posibles relaciones horizontales y en diagonal, entre los diferentes filamentos. Asimismo, se indica que los conceptos son visitados o retomados periódicamente de manera reiterativa, o en espiral, a lo largo del currículo.

Progresión y aprendizaje

Cuando utilizamos el término *progresión* para referirnos a algo que ocurre en las mentes de los alumnos hablamos de progresión en el aprendizaje. Aunque probablemente existe consenso sobre la importancia del tema, quizás éste ya no se da cuando se trata de delimitar en qué consiste la progresión en el aprendizaje de las ciencias. Ésta puede entenderse, entre otras formas, como los

sucesivos estados por los que pasa un estudiante en la evolución de sus ideas, como distintos momentos o etapas en el desarrollo de determinadas estructuras cognitivas, o como la superación de determinados obstáculos o dificultades en el aprendizaje.

Diferentes teorías han enfatizado distintos aspectos en la progresión y le han atribuido diferente carácter. Para Piaget, lo que va progresando es la capacidad operativa del pensamiento de los alumnos, pasando sucesivamente por etapas definidas, independientes de los conocimientos concretos, hasta desarrollar los procesos mentales del adulto. Para Bruner, en cambio, son los «modelos del mundo» y de «la realidad» que la persona construye los que evolucionan. Estos modelos están basados, entre otros aspectos, en la información disponible y, con ella, irán cambiando para ofrecer visiones cada vez más amplias y realistas sobre el mundo (Woolfolk y McCune (1986).

Desde la perspectiva de los estudios sobre las concepciones de los alumnos se reconoce que el aprendizaje debe partir del conocimiento previo de éstos, tanto si se le considera «conjunto de ideas sueltas» o «con cierto grado de estructuración». Para algunos autores, muchas de estas concepciones configuran «un conocimiento de la vida cotidiana» que ejerce importantes restricciones en la adquisición de nuevos conocimientos y que es necesario representar y caracterizar; es decir, determinar cuáles son las ideas de los alumnos, cómo están organizadas, cómo cambian, cómo se relacionan con otros conocimientos, qué intervenciones las hacen cambiar...

No partimos, por tanto, de un sólo punto de vista sobre la progresión en el aprendizaje y, para seguir hablando de ella, parece necesario escoger y fundamentar alguna opción determinada.

PROGRESIÓN EN DOMINIOS ESPECÍFICOS

A medida que aumenta nuestro conocimiento sobre el aprendizaje de las ciencias nos hacemos más conscientes de su complejidad y de los múltiples aspectos de distinta naturaleza que confluyen en él. Con frecuencia, cuando decimos que los alumnos progresan, solemos referirnos a su comprensión conceptual, pero también se puede aplicar el concepto al desarrollo de sus habilidades intelectuales, su capacidad para investigar (Millar et al., 1993; Gott, Duggan y Millar, 1994) o su comprensión de la naturaleza de la ciencia (Leach, Driver, Millar y Scott, 1993), entre otros aspectos. No se trata de vertientes independientes sino íntimamente relacionadas entre sí, de forma que el avance en una de ellas repercute en el de las otras.

En la última década, desde la perspectiva de los estudios sobre las concepciones de los alumnos, se considera pertinente centrar la investigación en la progresión en dominios específicos de conocimientos, entendiendo qué planteamientos más generales no van a permitir alcanzar la profundización necesaria y atendiendo a la

idea de que el contexto de los conocimientos específicos influye de manera determinante en el aprendizaje.

La expresión *dominio específico* alude a una parcela de conocimientos que posee un sentido propio en la ciencia escolar y que es trabajado como una unidad, pues se considera que los conceptos que abarca guardan una estrecha relación entre sí y, por tanto, los alumnos los aprenderán mejor de esta forma. Circuitos eléctricos, fuerzas, disoluciones, ecología, reacciones químicas, naturaleza de la materia, combustión, nutrición, reproducción... constituyen ejemplos de dominios específicos más o menos amplios. Al centrarse en estos dominios, se espera que los resultados de las investigaciones tengan implicaciones más directas en la planificación y desarrollo de la enseñanza.

Aunque concebimos la comprensión como un proceso continuo y multidimensional (White y Gunstone, 1992), partimos de la hipótesis de que ésta puede ser estudiada caracterizando estados discretos intermedios. También lo entienden de esta forma algunos autores cuyas propuestas se describen a continuación.

Senderos en el aprendizaje (Scott, 1992)

Scott utiliza este término para referirse a las rutas que los individuos recorren en el desarrollo de su comprensión sobre cualquier dominio. Estos senderos tendrían un comienzo y un final, que el investigador establece en la medida en que acota su estudio en el tiempo y en el contenido. En su artículo, Scott centra su estudio en el aprendizaje realizado durante el tratamiento en el aula de un tema sobre la naturaleza de la materia, refiriéndose a aspectos muy concretos como el concepto de *vacío* y el de movimiento de las partículas. Por tanto, el comienzo de estos senderos estaría caracterizado por las concepciones que los alumnos tienen sobre esos conceptos al inicio de la enseñanza, y el final por el grado de comprensión que se ha alcanzado al cabo del período dedicado al tema, describiendo, mediante un caso, el cambio que se va produciendo en las ideas a lo largo de la intervención.

Trayectorias conceptuales (Driver, 1989)

Para Driver, las evidencias de los primeros trabajos realizados en este sentido apuntaban a que los alumnos podrían progresar en su comprensión pasando por una serie de nociones intermedias ordenadas en secuencias a las que denominó *trayectorias conceptuales*. Aunque estas nociones intermedias no sean correctas desde el punto de vista científico, el paso de una a otra reflejaría un progreso en la comprensión.

«[...] el aprendizaje dentro de un dominio particular puede ser caracterizado en términos de progreso a través de una secuencia de conceptualizaciones, las cuales representan etapas significativas para describir el camino del conocimiento dentro de un dominio dado. A esta secuencia de conceptualizaciones la denominamos una

trayectoria conceptual.» (Driver, Leach, Scott y Wood-Robinson, 1994b)

Esta noción se apoya en el contenido y la naturaleza de los cambios en el razonamiento manifestados por poblaciones de estudiantes. Por ejemplo, para el aprendizaje de las propiedades del aire y los gases, la trayectoria conceptual podría comenzar con las nociones de *aire* como algo insustancial que existe sólo como «viento» o «brisa». El primer cambio importante significaría el desarrollo de la noción de *aire* o *gas* como sustancia material, el cual podría ir seguido por una apreciación de que la propiedad del peso o la masa es característica de toda sustancia material y, por tanto, se aplica a todos los cuerpos gaseosos de igual manera que a los líquidos y sólidos. Secuencias como ésta han sido postuladas en diferentes dominios (Driver et al., 1994b).

El significado otorgado a la expresión *trayectoria conceptual* difiere del que Scott asigna al de *sendero en el aprendizaje*. La trayectoria conceptual no describe el camino en el razonamiento que cada estudiante sigue —lo que sí se pretende con la idea de *sendero*—, sino que representa, en términos amplios, la naturaleza de los cambios en el razonamiento que pueden ponerse de manifiesto en situaciones particulares.

«Postes kilométricos» (Watson y Leach, 1996)

Watson y Leach se expresan con ideas parecidas a las de Driver y otros (1994b) cuando utilizan el término *postes kilométricos* (milestones) para describir aspectos particulares del conocimiento de los alumnos que representan etapas clave en el razonamiento que conduce a la comprensión de ciertos conceptos científicos. Estos postes son elaborados por el investigador a partir del conocimiento de las concepciones en diferentes momentos del aprendizaje y proporcionan sugerencias para la enseñanza. Por ejemplo, para progresar en la comprensión del concepto de *disolución* sería necesario que los alumnos superasen determinados obstáculos (postes), que estos autores consideran especialmente difíciles y que ordenan de la siguiente manera:

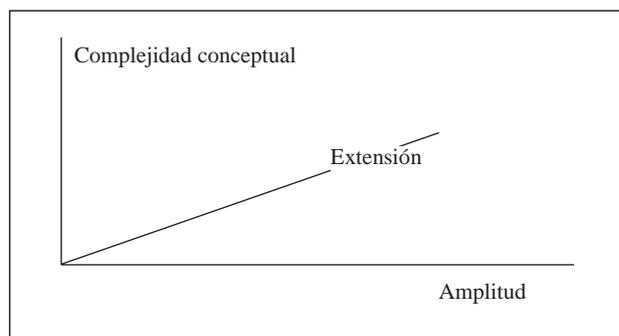
- a) diferenciar entre propiedades y sustancias;
- b) apreciar que las sustancias y la masa se conservan en el proceso;
- c) explicar la naturaleza de la disolución en términos de partículas microscópicas.

Las propuestas de Driver y otros y Watson y otros, por un lado, y la de Scott, por otro, tienen implicaciones en las metodologías de investigación y en las conclusiones que de ellas se pueden extraer. Así, por ejemplo, mientras que la noción de *trayectoria conceptual* puede resultar muy útil en la planificación y la secuenciación del currículo, los senderos en el aprendizaje permiten documentar cómo las ideas de los estudiantes interactúan con actividades de enseñanza concretas y los resultados de las mismas.

Avance tridimensional (Adey, 1997)

Para analizar la progresión y lo que es importante en ella, Adey ha propuesto el modelo de avance tridimensional que se representa en la figura 2.

Figura 2
Dimensiones de progresión en el currículo (Adey, 1997).



Este modelo, planteado en términos generales por su autor, nos muestra, al aplicarlo a un dominio específico, que la dimensión «amplitud» alude al rango de aspectos que influyen en la comprensión del mismo y sobre los que la persona tiene algún conocimiento. Por ejemplo, en la comprensión de conceptos como el de *flotación* influyen los conocimientos de objetos que flotan y objetos que se hunden, los conceptos de *pesado* y *ligero*, y los de *grande* y *pequeño*, entre otros. La dimensión «extensión» alude a la cantidad de conocimiento sobre los aspectos contenidos en la dimensión «amplitud».

En el plano amplitud-extensión, la complejidad conceptual sería escasa o nula; es decir, nos moveríamos en el terreno de la información fragmentada, que puede abarcar más o menos aspectos (amplia) y en mayor o menor cantidad (extensa). Para Adey, de las tres dimensiones de su modelo, es la «complejidad conceptual», articulada a partir de una fundamentación psicológica, la que contiene las claves para una noción jerárquica de *progresión* –mientras que las otras dos juntas configuran el plano que representa la información que el individuo tiene sobre el tema en cuestión–. Resulta evidente que la naturaleza del conocimiento en este plano está constreñida por el nivel de la dimensión «complejidad conceptual» y, en todo caso, no existe independencia entre el avance a lo largo de cada dimensión.

Las reflexiones de Adey (1997) y los conocimientos derivados de la investigación sobre las concepciones de los alumnos convergen en enfatizar dos aspectos: *a*) la información que poseemos siempre tiene algún sentido por fragmentada que sea; *b*) lo que ya sabemos determina lo que podemos conocer (White y Gunstone, 1992). Cuando estudiamos la progresión, estos aspectos nos llevan a otorgar una gran importancia a la comprensión por parte de los alumnos de otros conceptos y aspectos susceptibles de contribuir a la del que estamos investigando.

UNA PROPUESTA PARA EL ESTUDIO DE LA PROGRESIÓN EN DOMINIOS ESPECÍFICOS

Aunque partimos, como se ha dicho, de que la comprensión es un proceso continuo y multidimensional y, por tanto, muy complejo, necesitamos encontrar alguna representación de la misma, siempre parcial e incompleta, que nos ayude a avanzar en su estudio.

La propuesta que a continuación se presenta integra algunas de las consideraciones anteriormente expuestas e implica la combinación de enfoques teóricos y empíricos y de diferentes fases representadas en la figura 3.

Para hacer más evidente la propuesta se usa una analogía que hemos denominado *vías en un mapa de carreteras*. En ella se equipara la progresión en un dominio específico con un viaje, y se describe como «las rutas que recorren los alumnos en su aprendizaje».

Mapa del dominio

Para definir los elementos de esta analogía, un primer paso ineludible conlleva la descripción de lo que hemos llamado *mapa del dominio*.

Los mapas son representaciones parciales, más o menos fieles, de un determinado territorio, contruidos en función del nivel de conocimientos que se tienen sobre el mismo en un momento determinado. Solemos hacernos una idea de dicho territorio dibujando en los mapas diferentes hitos considerados relevantes para orientarnos en la realidad y para poder trazar rutas.

Aplicar esta analogía al estudio de la progresión en un dominio específico significa disponer de suficientes puntos de referencia para configurar un mapa, aunque sea aproximado. Para ello hay que tener en mente los conceptos y los conocimientos susceptibles de incidir en la comprensión del dominio en cuestión, y que los investigadores consideran indispensables para describirla. Estos puntos de referencia pueden surgir tanto de estudios empíricos sobre las concepciones de los alumnos como de elaboraciones teóricas. Así, Mortimer (1995) propone el análisis pormenorizado de la estructura lógica del dominio científico en concreto (para el que puede ser una fuente de inspiración el papel de la evolución de las ideas a lo largo de la historia) y de la información empírica proveniente de investigaciones sobre las concepciones de los alumnos.

Respecto al análisis de información empírica, puede citarse el estudio de Prieto, Watson y Dillon (1992) sobre la comprensión del concepto de *combustión*. En él se puso de manifiesto que las concepciones de los alumnos sobre la naturaleza de los gases influyen en el papel otorgado al oxígeno y la conservación de la masa y la materia en el proceso de combustión, al igual que la identificación adecuada de diferentes ejemplos. De este trabajo destacamos tres dimensiones de progresión en el aprendizaje de los alumnos sobre la

Figura 3
Un esquema para la investigación de la progresión en dominios específicos.

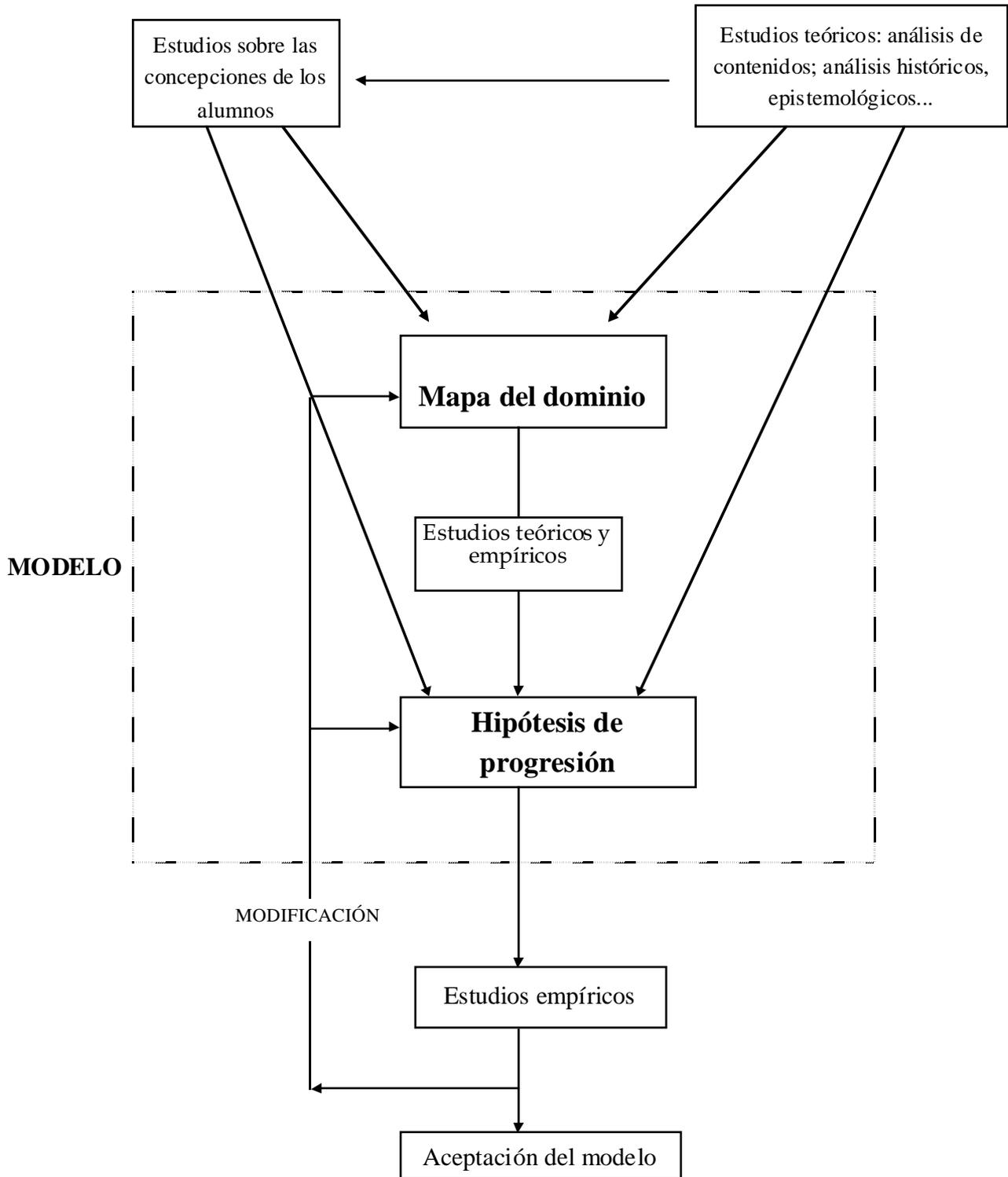
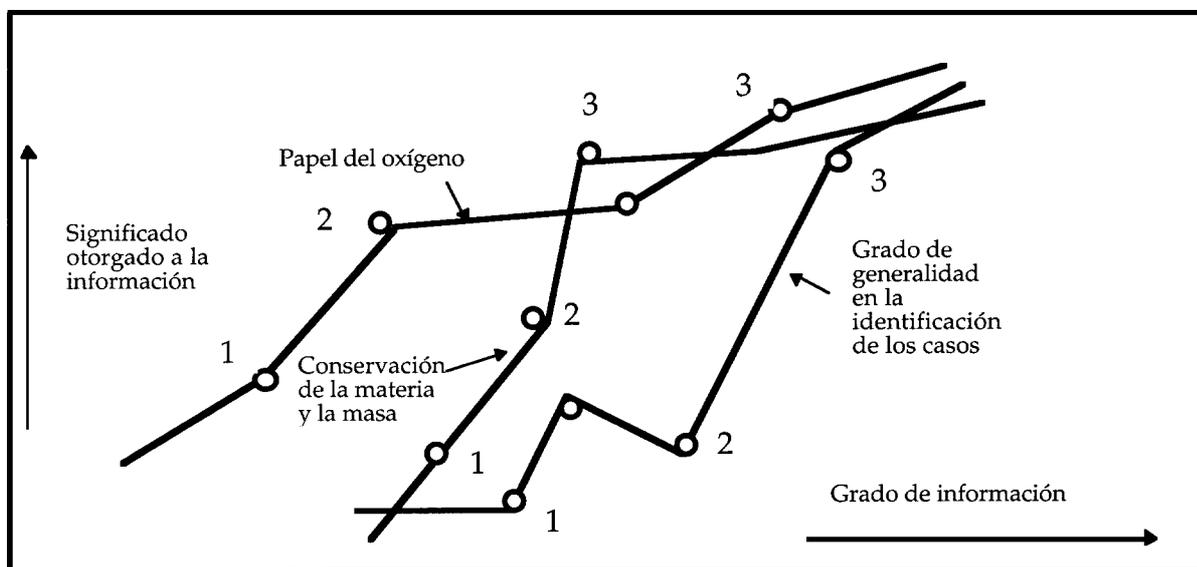


Figura 4
 Mapa para el estudio de la progresión sobre la combustión (elaborado a partir de Prieto et al., 1992).



combustión (Tabla I). Los distintos estados recogidos en cada una de ellas reflejan concepciones particulares detectadas en alumnos con diferente grado de comprensión (lo que no implica que un alumno particular tenga que pasar por todos y cada uno de ellos).

El mapa que serviría de referencia para estudiar la progresión en el aprendizaje de la combustión, según estas dimensiones, podría ser como el que se representa en la figura 4. En él se consideran dos ejes de representación correspondientes, respectivamente, al grado de información y al significado otorgado a la misma, de forma que la comprensión de los alumnos, cuando avanzan en esas dimensiones, se acerca a la de la ciencia escolar. Cada una de las líneas quebradas representa una dimensión que pretende visualizar la idea de la progresión como un proceso no rectilíneo.

Los estados de partida en cada dimensión se corresponderían con las concepciones más elementales detectadas; y los de llegada, con las que son acordes con el conocimiento escolar. Evidentemente, en el análisis de la comprensión de la combustión, no son únicos ni estas dimensiones ni los tres estados descritos en cada una de ellas en la tabla I, lo cual se ha reflejado en la figura con puntos no numerados.

En estos estudios cobra gran importancia el punto de vista del investigador sobre la manera en que las concepciones de los alumnos están organizadas. Si se considera que forman parte de estructuras más o menos complejas, el progreso habría que estudiarlo articulando relaciones entre las distintas dimensiones. De esta forma, la progresión en la comprensión del concepto de *combustión* no se

corresponde con el «simple» desarrollo de varias dimensiones aisladas, sino con el de una visión del fenómeno en la que participan tales dimensiones relacionadas entre sí. Esta perspectiva se asemeja a la idea de que los alumnos poseen teorías –más o menos elaboradas– (Watson, Prieto y Dillon, 1997; Benlloch 1997).

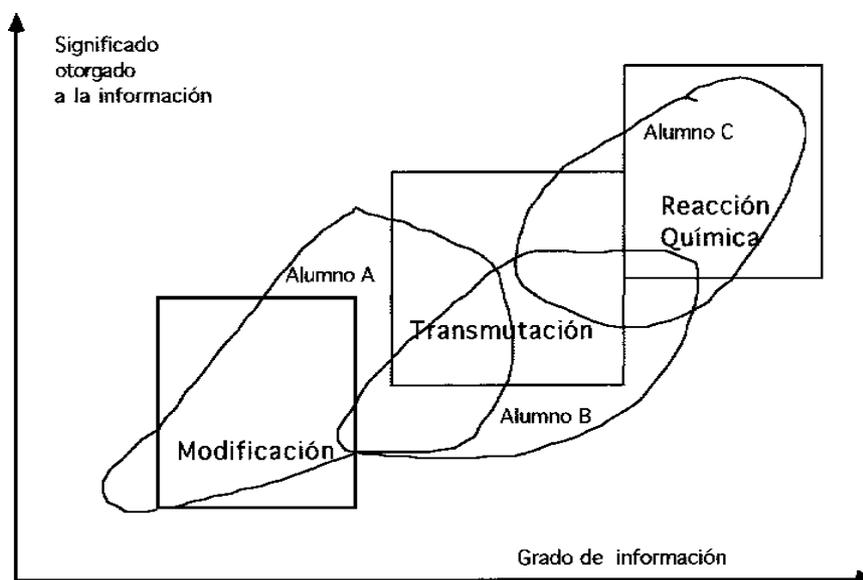
Prieto y otros (1992) definieron, de manera operativa, las tres teorías, más o menos explícitas, que una muestra de 300 alumnos españoles e ingleses de 14 y 15 años utilizaban para dar sentido a la combustión: reacción química (RQ), transmutación (T) y modificación (M).

– *M* es una teoría alternativa en la cual los alumnos confunden la combustión con algún cambio no definitivo (un cambio reversible que puede ser de estado físico, de color, de tamaño...). El oxígeno o el aire no son considerados como implicados en el proceso, y se identifica a la llama/fuego como el agente (fuente de calor) que produce el cambio.

– *T* es una teoría alternativa más elaborada, que atribuye al proceso un carácter irreversible. La llama es considerada el agente del cambio y, aunque no contempla la interacción entre el combustible y el oxígeno del aire, asigna a éste el papel de alimento de la llama. Durante la combustión, el combustible, al igual que el oxígeno, se puede transformar en otra sustancia o bien dejar de existir.

– *RQ* es la teoría de la ciencia escolar. Los alumnos reconocen que la sustancia combustible y el oxígeno del aire interactúan y forman parte de los productos de la combustión, proceso que es considerado como irreversible.

Figura 5
Representación de la progresión de las teorías de los alumnos sobre la combustión (elaborada a partir de Prieto et al., 1992).



Analizado el grado de uso que los alumnos hacen de ellas, se puso de manifiesto que: *a)* *T* es utilizada por todos; *b)* *M* es utilizada por aproximadamente la mitad, normalmente en ejemplos concretos como la combustión de alcohol y de cera; y *c)* un número reducido de alumnos utiliza *RQ* de una manera consistente.

Incorporando estas consideraciones a nuestra analogía del mapa, la progresión vendría representada por desplazamientos desde unas zonas o territorios (teorías) a otros, teniendo en cuenta que en alumnos particulares pueden darse casos diferentes: convivencia de más de una teoría, avance a una nueva sin abandonar la anterior... (Fig. 5).

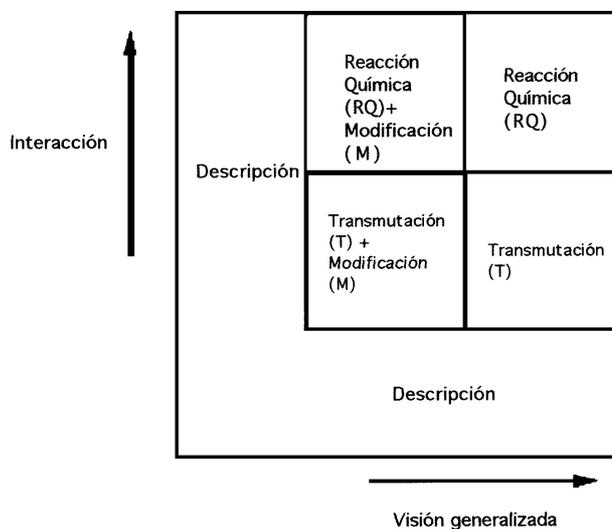
Hipótesis de progresión

La siguiente etapa del proceso representado en la figura 3 consiste en la elaboración de hipótesis de progresión, guiadas por preguntas como:

- ¿Qué caminos suelen seguir los alumnos en sus cambios de teoría?
- ¿De qué depende que los alumnos sigan un camino u otro?
- ¿Existe un camino mejor que los demás? ¿Qué lo hace mejor?

Ejemplos de algunas hipótesis de progresión sobre dominios específicos propuestas en la bibliografía, en concordancia con el significado que aquí se le ha atribui-

Figura 6
Una hipótesis para la progresión de la comprensión sobre la combustión (Prieto et al., 1992).



do, son las de: Mortimer (1995), sobre el concepto de *átomo*; Johnson (1998), sobre la naturaleza de la materia; Rahayu y Tytler (1999), sobre el concepto de *sustancia*; Tytler (2000), sobre algunos cambios de estado; y Prieto y otros (1992), sobre la combustión.

La hipótesis de Prieto y otros (1992) que se representa en la figura 6 sugiere que la progresión de la comprensión

Tabla I
Principales dimensiones de progreso en la comprensión de la combustión (a partir de Prieto, Watson y Dillon, 1992).

Dimensiones	Estados		
	1	2	3
Papel del oxígeno	No participa en la combustión.	Alimenta la llama.	Participa en la combustión y forma parte de los productos.
Conservación de la materia y la masa	La masa disminuye y la sustancia puede desaparecer si el cambio es percibido como de sólido a líquido a gas.	La masa se conserva si se atribuye masa a las sustancias en estado gaseoso. La materia se conserva.	La masa y la materia se conservan.
Grado de generalidad en la identificación de los casos	Algunas combustiones como la del alcohol, la de la cera o la de los metales son percibidas como cambios de estado.	Se va progresando en la incorporación de ejemplos a la combustión.	Se identifica y discrimina adecuadamente la combustión de otros cambios, incluidos los cambios de estado.

sobre la combustión puede describirse por el avance en dos dimensiones: *a*) el desarrollo de ideas sobre la interacción de los reactivos (eje vertical); y *b*) el desarrollo de una visión generalizada de la combustión (eje horizontal). En este proceso se da un abandono paulatino de las teorías alternativas (modificación y transmutación) en favor de la reacción química, a medida que los alumnos van generalizando su percepción de los ejemplos de combustión (lo cual permite que no la confundan con otros cambios como, por ejemplo, los cambios de estado) y encuentran el sentido de la participación del oxígeno en la reacción.

El progreso de los alumnos puede transcurrir por diversos caminos. Por ejemplo, alumnos que comiencen utilizando $T + M$ podrían abandonar pronto M si aumentan su capacidad para reconocer casos de combustión como tales, y, posteriormente, pasar a RQ si incorporan la idea de interacción combustible-oxígeno. Una posibilidad distinta consistiría en adquirir primero las ideas de interacción, en cuyo caso se explicarían adecuadamente los procesos identificados como combustión, pero se fallaría en reconocer algunos de ellos ($M + RQ$); en la medida en que mejoran este reconocimiento, se acercan a RQ . Las posibles vías de progresión habría que identificarlas en alumnos de diferentes edades e individualmente considerados.

Como se puede apreciar en este ejemplo, las hipótesis de progresión deben, además de contemplar los estados por los cuales pasan los alumnos, ir acompañadas de mensajes sobre la naturaleza de los cambios requeridos para superar cada uno de ellos. Dar cuenta de la naturaleza de estos cambios en la comprensión, es decir, del tránsito de un estado a otro es una tarea que reviste una complejidad mucho mayor que la de delimitar estados puntuales o

postes. En este sentido, Driver y otros (1994b) consideran que la progresión en el razonamiento sobre los fenómenos naturales puede describirse en términos de tres factores relacionados entre sí: la construcción de nuevas entidades ontológicas, el desarrollo de estrategias de razonamiento y los cambios en los compromisos epistemológicos.

Obtención de datos

La obtención de datos empíricos, tanto para construir como para contrastar estos modelos (Fig. 3), requiere diseños de diferente naturaleza, entre los que cabe destacar: transversales, longitudinales y estudios de aprendizaje.

Los estudios transversales se realizan con muestras de alumnos de diferentes edades, a los que se investiga simultáneamente considerándolos como poblaciones equivalentes, y permiten caracterizar y describir las ideas de los estudiantes y los grandes cambios que se producen con la edad y la instrucción. Una estrategia comúnmente adoptada consiste en representar las tendencias en las respuestas de alumnos de diferentes edades ante las mismas tareas. La selección de tareas constituye un elemento esencial, pues hay que buscar aquellas que son aplicables a rangos de edades muy amplias y, si no lo son, que permitan tratar los resultados de manera unificada.

Diseños de este tipo han permitido identificar las diferentes concepciones y el arraigo de las mismas en alumnos de diferentes edades. Driver y otros (1994b) realizan una recopilación de los que se han llevado a cabo en diferentes dominios, entre los que resaltamos los referi-

dos a la estructura de la materia y las propiedades del aire; mientras que Leach y otros (1995, 1996a y 1996b) y Barman, Griffiths y Okebukola (1995) se centran en la ecología.

Este tipo de estudios no permite realizar afirmaciones acerca de los caminos que siguen los estudiantes individuales en sus razonamientos. Para ello se requieren diseños longitudinales en los cuales los razonamientos son seguidos individualmente durante un período de tiempo suficientemente largo (Johnson, 1998; Lichtfeldt, 1996). Sin las evidencias obtenidas por esta vía, hay que tener mucha precaución a la hora de hacer inferencias sobre los cambios que se producen.

Para obtener información sobre cómo ocurren los cambios en las concepciones de los alumnos es necesario realizar lo que Niedderer, Goldberg y Duit (1992) denominan *estudios del aprendizaje como consecuencia de intervenciones específicas* (Nussbaum y Novick, 1982; Scott, 1992). Estos estudios emanan de diseños metodológicos variados que pueden ser descritos a lo largo de cuatro dimensiones: la frecuencia con que se recogen los

datos, las muestras estudiadas, la duración del estudio y el contexto en el que tienen lugar los procesos de aprendizaje.

CONSIDERACIÓN FINAL

La propuesta presentada supone un esquema de carácter general que puede ser aplicado a la progresión en el aprendizaje de distintos dominios específicos. En ella se recogen y se integran algunas de las propuestas encontradas en la bibliografía, tanto desde el punto de vista teórico como metodológico, con el ánimo de reflexionar sobre esta importante parcela de la investigación en la enseñanza de las ciencias.

NOTA

¹ El trabajo del que forma parte este artículo ha sido financiado por la DGES mediante el proyecto PB97-1104.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEY, P. (1997). Dimensions of progression in a curriculum. *The Curriculum Journal*, 8(3), pp. 367-391.
- BARKER, S. y SLINGSBY, D. (1998). From nature table to niche: curriculum progression in ecological concepts. *International Journal of Science Education*, 20(4), pp. 479-486.
- BENLLOCH, M. (1997). *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas sobre el aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Aprendizaje Visor.
- BLACK, P. y SIMON, S. (1992). Progression in learning science. *Research in Science Education*, 22, pp. 45-54.
- BARMAN, C. R., GRIFFITHS, A. K. y OKEBUKOLA, P. A. (1995). High school students' concepts regarding food chains and food webs: a multinational study. *International Journal of Science Education*, 17(6), pp. 775-782.
- CAÑAL, P. (1997). La fotosíntesis y la «respiración inversa» de las plantas: ¿un problema de secuenciación de los contenidos? *Alambique*, 14, pp. 21-36.
- CROSSLAND, J. (1998). Teaching for progression in experimental and investigative science. *Primary Science Review*, 53, pp. 18-20.
- DES (1988). National Curriculum Task Group on Assessment and Testing: a report. Londres: Department of Education and Science and the Welsh Office. Citado en Black, P. y Simon, S. 1992. Progression in learning science. *Research in Science Education*, 22, pp. 45-54.
- DRIVER, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), pp. 481-490.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P. y WOOD-ROBINSON, V. (1994a). *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. Londres: Routledge.
- DRIVER, R., LEACH, J., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1994b). Young people's understanding of science concept: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, pp. 75-100.
- FENSHAM, P. (1994). Progression in school science curriculum: a rational prospect or a chimera? *Research in Science Education*, 24, pp. 76-82.
- GARCÍA, J. (1997). La formulación de hipótesis de progresión para la construcción del conocimiento escolar: una propuesta de secuenciación en la enseñanza de la ecología. *Alambique*, 14, pp. 37-48.

- GOTT, R., DUGGAN, S. y MILLAR, R. (1994). Progression in investigative work in science: Procedural and conceptual knowledge in science project (The PACKS project). Documento tratado en American Educational Research Association Annual Meeting. Nueva Orleans.
- JOHNSON, P. (1998). Progression in children's understanding of a «basic» particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), pp. 393-412.
- LEACH, J., DRIVER, R., MILLAR, R. y SCOTT, P. (1993). Progression in learning about «the nature of science»: issues of conceptualisation and methodology. Documento presentado en Annual Meeting of the British Educational Research Association. Universidad de Liverpool. 10-13 de septiembre.
- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1995). Children's ideas about ecology 1: theoretical background, design and methodology. *International Journal of Science Education*, 17(6), pp. 721-732.
- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1996a). Children's ideas about ecology 3: Ideas found in children aged 5-16 about the interdependence of organisms. *International Journal of Science Education*, 18(2), pp. 129-141.
- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1996b). Children's ideas about ecology 2: Ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, 18(1), pp. 19-34.
- LICHTFELDT, M. (1996). Development of pupils' ideas of the particulate nature of matter: long-term research project, en Welford, G., Osborne, J. y Scott, P. (eds.). *Research in Science Education in Europe*. Londres: Falmer Press.
- MILLAR, R., GOTT, R., LUBBEN, F. y DUGGAN, S. (1993). Children's performance of investigative tasks in science: a framework for considering progression. Documento presentado en Annual Meeting of the British Educational Research Association. Universidad de Liverpool, 10-13 de septiembre.
- MORTIMER, E. (1995). Conceptual change or a conceptual profile change? *Science & Education*, 4, pp. 267-285.
- NIEDDERER, H., GOLDBERG, F. y DUIT, R. (1992). Towards learning process studies: a review of the workshop on research in physics learning, en Duit, R., Goldberg, F. y Neidderer, H. (eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*, Proceedings of an international workshop. Germany: IPN, University of Kiel.
- NUSSBAUM, J. y NOVICK, S. (1982). A study of conceptual change in the classroom. Documento presentado en Annual Meeting of the NARST. Chicago: Lake Geneva.
- PRIETO, T. y BLANCO, A. (1997). *Las concepciones de los alumnos y la investigación en didáctica de las ciencias*. Málaga: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga y Centro de Profesores de Málaga.
- PRIETO, T., WATSON, R. y DILLON, J. (1992). Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22, pp. 331-340.
- RAHAYU, S. y TYTLER, R. (1999). Progression in Primary school children's conceptions of burning: toward an understanding of the concept of substance. *Research in Science Education*, 29(3), pp. 295-312.
- SCOTT, P. H. (1992). Pathways in learning science: a case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter, en Duit, R., Goldberg, F. y Neidderer, H. (eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*, Proceedings of an international workshop. Germany: IPN, University of Kiel.
- TABER, K. (1995). An analogy for discussing progression in learning chemistry. *School Science Review*, 76(276), pp. 91-95.
- TYTLER, R. (2000). A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: dimensions of conceptual progression. *International Journal of Science Education*, 22(5), pp. 447-467.
- WATSON, R. y LEACH, J. (1996). Dissolving ideas. *Education in Chemistry*, 33(4), pp. 101-102.
- WATSON, R., PRIETO, T. y DILLON, J. (1997). Consistency in pupils' explanations about combustion. *Science Education* 81(4), pp. 425-443.
- WHITE, R. y GUNSTONE, R. (1992). *Probing understanding*. Londres: The Falmer Press.
- WOOLFOLK, A. E. y McCUNE, L. (1986). *Psicología de la educación para profesores*. Madrid: Narcea.

[Artículo recibido en noviembre de 2000 y aceptado en agosto de 2001.]