



## **LA SECUENCIACIÓN DE CONTENIDOS EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA: (I) LAS PECULIARIDADES DEL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y DE SUS RECURSOS DIDÁCTICOS**

JOSÉ A. GALLEGOS (\*)

### **INTRODUCCIÓN**

Una vez establecidos los principios fundamentales y las normas generales que deben regir la secuenciación de los contenidos curriculares (Gallegos, 1998a), se puede intentar la elaboración de secuencias concretas para la Geología.

Lo que se pretende con la secuenciación es conseguir un aprendizaje, además de científicamente correcto en nuestro caso, suficientemente estructurado, comprendido e incorporado a los esquemas mentales de los alumnos a los que se destina. Pero el ceñirse a una materia concreta supone, como vimos, afrontar las peculiaridades de su propia estructura interna y de sus objetos de estudio, en este caso las rocas, con sus minerales integrantes, sus estructuras y su historia (sin olvidar los procesos generadores de todo ello). Esta será, pues, la línea directriz de las reflexiones siguientes: las conexiones entre estos aspectos y la consecución de un aprendizaje significativo para poder seguir progresando en la línea de trabajo proyectada.

Descender a estos niveles de concreción se presta a mayores discrepancias y divergencias de opinión que mantenerse en la necesaria discusión de las cuestiones teóricas; pero estimo que resulta imprescindible, porque es lo que realmente orienta la activi-

dad en el aula, y lo que permite llevar a cabo una evaluación matizada de los principios fundamentales y las normas generales establecidas teóricamente.

Dada la amplitud del trabajo resultante, se ofrecen ahora las reflexiones más básicas relacionadas con la aplicación de los principios fundamentales y las normas generales 1 a 5 ya establecidas al caso concreto de la Geología, y como sustrato psicopedagógico del que debe brotar la secuenciación en nuestro caso concreto (aunque algunas de ellas son también de validez general, especialmente para el resto de las Ciencias de la Naturaleza, sobre todo las que se relacionan con los recursos didácticos utilizables en este campo). Todos ellos son aspectos que condicionan y orientan el desarrollo de las grandes líneas o bloques de contenidos que se van a utilizar como estructuradores de las secuencias. Tanto esos grandes bloques como el desarrollo de las secuencias concretas se tratarán en un trabajo posterior.

### **EN RELACIÓN CON EL NIVEL MADURATIVO DEL ALUMNO**

Como ya se ha visto al hablar del alumno, Piaget (1954, 1970, 1973, 1975) ha llegado a ofrecer una secuencia de periodos de desarrollo que puede ser de extraordinaria utilidad para dirigir nuestras aplicaciones

---

(\*) Universidad de Granada.

prácticas de enseñanza-aprendizaje. Esto es lo que Shayer y Adey (1986) han hecho para muchas tareas de Física, de Química y alguna de Biología, pero, que yo conozca, no se ha hecho absolutamente nada para tareas específicas de Geología, a pesar de los esquemas teóricos propuestos por Lillo y Redonet (1985), que aprovecharé al máximo para desarrollos posteriores.

Una de las conclusiones a que llegan Shayer y Adey (1986) se refiere a la necesidad de aumentar progresivamente las edades propuestas por Piaget, porque los alumnos ingleses con los que ellos han trabajado no alcanzan el periodo de las operaciones formales hasta los 15-17 años; este mismo resultado también lo confirma nuestra propia experiencia. Como hipótesis de trabajo, pues, se partirá de la siguiente estructuración general de los estadios madurativos:

- Preoperatorio (2-7 años), no considerado aquí.
- Operaciones concretas: 2A: Inicial: 7-10 años; 2B: Avanzado: 10-14 años.
- Operaciones formales: 3A: Inicial: 14-16 años; 3B: Avanzado: 16-18 años.

Este esquema de partida, basado en la capacidad del alumno para captar y comprender las cuestiones que se le quieren enseñar, lo encuentro íntimamente relacionado con algunos aspectos de lo que se viene llamando, desde hace ya tiempo, la «calidad de la enseñanza».

En este último siglo, desde Claparède (1932) y Dewey (1947) hasta Wilson (1992), la calidad de la enseñanza ha sido y sigue siendo un motivo continuo de preocupación y de indagación, comenzando por la definición misma de qué sea una enseñanza de calidad. En la actualidad, se entiende que la calidad pasa por conseguir dos aspectos fundamentales. Por un lado, que el aprendizaje desarrolle la capacidad del individuo de elaborar una representación personal de la realidad que le

permita comprenderla de la forma más completa posible. Por otro, que esa comprensión sea lo más objetiva posible (o, al menos, lo más próxima a la representación científica que se tiene en este momento).

Tanto lo uno como lo otro no se hace desde la nada, sino desde las experiencias, intereses y conocimientos previamente acumulados; y aunque implica un aspecto de construcción personal, de un cierto grado de «invención», tiene que hacerse en un sentido concreto, para desembocar en la comprensión cultural existente. Por eso, metodológicamente puede ser aconsejable (y muy rentable desde el punto de vista motivador) dejarles inventar formas de interpretar los seres naturales y sus procesos, que a veces pueden conducir incluso a resultados insospechados y realmente interesantes; pero, al final, la construcción personal tiene que desembocar en un acercamiento a lo científicamente establecido, comprendiéndolo de la mejor forma posible y dejando abiertas las puertas a interpretarlo y usarlo de todas las formas establecidas (y de algunas más que puedan descubrir o descubrirse y que también sean aceptables).

Concretando la reflexión sobre este aspecto de la calidad a nuestra acción en el aula, parece que se puede resumir en lo que voy a llamar una «enseñanza significativa», por analogía con el término más conocido de «aprendizaje significativo». Esta enseñanza significativa para el alumno tendrá que incluir aspectos cognitivistas (aprovechando todos los enormes adelantos que ya se han acumulado en este campo), pero también los aspectos del campo afectivo y relacional, sin descuidar los psicomotores (o, utilizando los términos en uso actualmente, que no son totalmente sinónimos, los aspectos conceptuales, actitudinales y procedimentales). Este enfoque es el que ya Entwistle (1988) denominó «aprendizaje profundo», fuertemente contrastante con el denominado «aprendizaje superficial». De una forma ciertamente

simplificada, pero creo que muy clarificadora, yo les resumo a mis alumnos estas ideas, retocadas y ampliadas por mi propia experiencia en este campo, de la forma que muestra la tabla I.

Es cierto que estos enfoques hay que relacionarlos con la forma de abordar cada tarea y no con el estudiante; porque el mismo alumno puede aplicar enfoques distintos a tareas distintas o con profesores distintos. No obstante, cada alumno muestra tendencia preferente hacia el uso más o menos sistemático de un enfoque determinado; es esa tendencia la que nos lleva a preguntarnos por las causas que hacen que los alumnos se inclinen hacia un enfoque u otro, o muestren mayor o menor disposición hacia la realización de aprendizajes significativos. Todos los datos disponibles hacen pensar que las causas son diversas y que to-

das presentan estrechas y variadas interconexiones; además, no se deben exclusivamente al alumno, sino que se crean, al menos en parte, en la propia situación de enseñanza (yo opino que casi en su totalidad, si se incluye también la «situación de enseñanza familiar»). Esta situación global envolvente constituye el «contexto físico» en el que los individuos que realizan el proceso de enseñanza-aprendizaje construyen el «contexto percibido» (Bronfenbrenner, 1987); y es en este último donde parece claro que se deben buscar las razones de la atribución de sentido que cada uno despliega.

Esta atribución de sentido está relacionada muy directamente con los seis aspectos siguientes:

- Saber qué se pretende conseguir.
- Percibir que ese aprendizaje cubre alguna necesidad propia (de

TABLA I  
*Enfoque superficial y enfoque significativo del aprendizaje*  
(Modificado de Entwistle, 1988)

<b>Enfoque superficial</b>	<b>Enfoque significativo</b>
- Estudia con la intención de cumplir los requisitos de la tarea.	+ <i>Estudia con intención de comprender.</i>
- Se limita a memorizar la información necesaria para pruebas o exámenes.	+ <i>Establece una fuerte interacción mental con el contenido.</i>
- Se enfrenta con la tarea porque es algo que se le impone.	+ <i>Se enfrenta con la tarea percibiéndola como un desafío intelectual que tiene que superar.</i>
- No reflexiona sobre los propósitos perseguidos ni sobre las estrategias más adecuadas para conseguirlos.	+ <i>Se pregunta sobre la meta concreta de cada fase y sobre la forma más adecuada de alcanzarla satisfactoriamente.</i>
- No distingue principios a partir de ejemplos.	+ <i>Capta la ejemplificación como ilustración de una afirmación global.</i>
- Focaliza su atención en elementos sueltos, sin integración.	+ <i>Relaciona las nuevas ideas con los conocimientos anteriores para captar sus relaciones.</i>
	+ <i>Relaciona conceptos nuevos con la experiencia cotidiana.</i>
	+ <i>Relaciona los datos con las conclusiones obtenidas de ellos.</i>

informarse, de saber, de practicar, de profundizar).

- Tener la percepción de que se puede aprender.
- El uso de métodos de enseñanza que favorecen o no la dependencia.
- La extensión de los programas si originan exceso de trabajo para el tiempo disponible.
- El tipo de evaluación usado.

Todo ello se relaciona íntimamente, a su vez, con la motivación, puesto que ésta se encuentra directamente ligada con la atribución de sentido que el alumno dé a todo lo que realiza con la finalidad de aprender, y que tanta atención ha requerido desde hace bastante tiempo (cf. Correll, 1969; Coll, Palacios y Marchesi, 1990; Coll y otros, 1992; Coll y otros, 1994). Aquí sólo voy a recordar que para que esa atribución de sentido sea posible, «para sentir interés», deben cumplirse, al menos, tres requisitos importantes, si no fundamentales:

- Hay que saber qué se pretende conseguir.
- Hay que percibir que ese aprendizaje cubre alguna necesidad propia (de informarse, de saber, de practicar, de profundizar).
- Se necesita la percepción de que se puede aprender.

Todo lo anterior tiene su complemento y su consecuencia en el planteamiento de una cuestión práctica fundamental: hasta qué punto las *actividades* propuestas a los alumnos son apropiadas para el aprendizaje de los contenidos previstos. Resumiendo bastante, se pueden enumerar una serie de requisitos teóricos generales que deben confluír en la configuración de las actividades en función de la finalidad que pretenden conseguir:

- Que sean adecuadas al nivel madurativo de los alumnos.
- Que el planteamiento de los contenidos sea significativo y funcional para los alumnos.

- Que provoquen en el alumno un conflicto cognoscitivo entre lo que sabe y los nuevos contenidos.
- Que aparezcan como un reto abordable para el alumno, es decir, que delimiten zonas de desarrollo próximo en las que pueda intervenir el profesor.
- Que sean motivadoras en relación con el aprendizaje de los nuevos contenidos.
- Que estimulen la autoestima porque el alumno compruebe que ha aprendido y que su esfuerzo ha valido la pena.
- Que ayuden a mejorar las destrezas relacionadas con el «aprender a aprender» para ir consiguiendo cada vez mayor autonomía.

En la práctica, la dificultad puede residir en determinar cuáles sean las actividades que reúnan todos esos requisitos o la mayor parte de ellos, o decidir qué conjunto de actividades consigue reunirlos todos, porque cada una de las agrupadas cubre uno o varios de esos requisitos. Para ello puede ser útil recurrir a los doce criterios que ya propuso Raths (1973) y que han sido manejados por muchos autores desde entonces.

En resumen: que nuestros alumnos tiendan a adoptar un enfoque profundo en su aprendizaje depende de muchas variables, pero algunas de ellas son precisamente que les proponemos que hagan, cómo les pedimos que lo hagan, qué ambiente de trabajo conseguimos y qué tipo de instrumentos utilizamos para evaluarlos. Y muchas veces, la dificultad para inventar instrumentos adecuados a cada nivel es sólo una cuestión de proponerse esta meta; se pueden conseguir actividades muy sencillas que sean válidas para introducir al alumno en temas arduos o complejos, como puede ser la comprensión de la datación absoluta en geología (Gallegos et al. 1993, p. 82; Pedrinaci y Berjillos, 1997).

Organizar todo el trabajo sobre la base de que la elaboración del conocimiento

requiere tiempo, esfuerzo e implicación personal, así como ayuda experta, aliento y afecto, contribuirá a que el proceso de aprendizaje tienda más a lo que esperamos: que los alumnos aprendan, y que estén contentos al aprender; que los profesores, al comprobar que nuestros esfuerzos han merecido la pena, nos sintamos gratificados.

Concretando, pues, todo lo expuesto para nuestro caso de la Geología, y estructurando los contenidos geológicos en cinco grandes bloques de referencia (materiales, estructuras, procesos, historia y aplicaciones) como hipótesis de trabajo, se puede ofrecer ya una visión de conjunto como la que ofrece la tabla II.

#### EN RELACIÓN CON LAS IDEAS PREVIAS DE LOS ALUMNOS

Si se acepta la base de partida de que los alumnos tienen sus propios esquemas conceptuales y han elaborado sus propias teorías para explicar cómo funciona el mundo (o, al menos, «su mundo»), sin entrar en discusiones sobre cómo se llamen o se deban llamar (cf. Cubero, 1994), se llega a la conclusión de que el proceso de aprendizaje científico debe consistir en cambiar estas ideas previas por los conceptos que manejan los científicos, aunque ello suponga una «transposición didáctica» del saber científico al saber enseñado (Brousseau, 1989; Chevallard, 1992; Johsua y Dupin, 1993).

Los conceptos espontáneos tienen su origen en el contacto diario del alumno con el entorno (en sentido amplio) y le sirven para comprender y formular sus propias predicciones sobre los fenómenos que ocurren en dicho entorno (Gil y Carrascosa, 1985; Solbes y Traver, 1986; Gallegos, 1998b). Estos conceptos espontáneos no son independientes unos de otros «como los guisantes de una vaina» (en expresión de Vygotsky, 1977), sino que constituyen estructuras jerar-

quizadas y cumplen una función explicativa. Algunos autores se refieren a las *teorías alternativas* de los alumnos.

Mientras que en la formación de conceptos espontáneos la atención se centra en el objeto (seguida de la generalización y el análisis), en la formación de conceptos científicos la atención se centra en el propio concepto. De ahí se derivan los tres rasgos característicos de los conceptos científicos (Vygotsky, 1977):

- Forman parte de un sistema.
- Se adquieren a través de una toma de conciencia de la propia actividad mental.
- Implican una relación especial con el objeto, basada en la internalización de la esencia del concepto.

Y a ello se debe que los conceptos sirvan (según Bruner, Goodnow y Austin, 1978) para:

- Reducir la complejidad del entorno.
- Identificar los objetos que hay en el mundo.
- Reducir la necesidad de un aprendizaje constante.
- Ordenar y relacionar clases de hechos.

Por su parte, los conceptos científicos (magmatismo, sedimentación, estrato, etc.) no son de la misma naturaleza que los lingüísticos (mesa, casa, etc.). El concepto científico no siempre designa un hecho u objeto concreto, sino que puede referirse a una relación que, además, cabe la posibilidad de que aparezca en situaciones diversas. El concepto de sedimentación, por ejemplo, se puede relacionar con muchas situaciones (medios sedimentarios), con diversos procesos que la determinan (decantación, precipitación), con muchos productos resultantes (diversos sedimentos y rocas sedimentarias). Los conceptos científicos permiten dar explicaciones de los hechos y también preverlos. Un concepto científico se puede expresar por una frase (definición enunciativa) o ir apoyado en una expresión matemática (definición operativa). Tienen un campo

TABLA II

*Algunos contenidos de Geología en función del estadio madurativo del alumno*

TEMA		ESTADIO DE LAS OPERACIONES CONCRETAS		ESTADIO DE LAS OPERACIONES FORMALES	
		2A. Inicial (7-10 años?)	2B. Avanzado (10-14?)	3A. Inicial (14-16?)	3B. Avanzado (16-18?)
MATERIALES	M I N E R A L E S	Observa y aprecia diferencias entre minerales. Puede agruparlos en función de una sola propiedad, pero no es capaz de utilizar categorías de clasificación más teóricas.	Comprende los criterios que separan los minerales petrogenéticos de los minerales metálicos, pero no es capaz de incluirlos claramente en uno de los dos grupos. Empieza a encontrar interés en explicar la formación de cristales.	Capta ya criterios de clasificación no químicos, pero necesita tiempo para asimilar los criterios y los grupos resultantes. Empieza a comprender las condiciones de formación de cristales, pero no sus características.	Comprende la clasificación química de los minerales. La clasificación estructural también es asequible al final del periodo, una vez que asimila las nociones de simetría e interpreta cristales sencillos.
	R O C A S	Aprecia diferencias entre clases de rocas sin reconocer su origen. Puede realizar clasificaciones sencillas atendiendo a propiedades observables.	Comprende ya la razón de la clasificación genética y memoriza las características de cada grupo, pero no es capaz de identificar una determinada roca como de uno de los grupos.	Sobre ejemplares muy claros, sí es capaz ya de identificar el grupo genético al que pertenecen. Comienza a percibir las diferencias importantes entre ejemplares de cada grupo.	Distingue ya las características de los subgrupos de rocas en función de rasgos texturales y comprende que la observación macroscópica es insuficiente para una clasificación detallada, sobre todo cuando la mineralogía no es visible a simple vista.
	F Ó S I L E S	Diferencia los grandes tipos exclusivamente por la morfología, lo cual le lleva a confundir los parecidos.	Comienza a comprender los criterios de organización interna para la clasificación y asocia trozos suficientemente expresivos con reconstrucciones completas identificando las partes.	Comprende los criterios taxonómicos para grandes grupos (phylum y clase) y los aplica correctamente en la identificación de ejemplares reales bien conservados. Comienza a captar los principios de sucesión de faunas y floras.	Desarrolla más la capacidad taxonómica del estadio anterior. Comprende el significado temporal de los fósiles y la posibilidad de establecer cronologías relativas con ellos.
ESTRUCTURAS	P L I E G U E S	Identifica estas estructuras y puede aprender sus elementos geométricos, pero no la génesis. No comprende las escalas en este campo.	Comprende ya la génesis de anticlinales y sinclinales y puede ofrecer explicaciones sencillas sobre su formación. Tiene problemas con la aplicación de las escalas.	Empieza a captar lo común a todas las estructuras compresivas, preguntándose por la energía necesaria para ello. Comprende el principio de aplicación de escalas y que una misma estructura puede presentarse con tamaños muy diversos.	Capta las relaciones causa-efecto entre la estructura observada y el proceso que la ha originado, pero no acaba de entender bien la fuente de la energía puesta en juego. Tiene dificultades para establecer criterios de sucesión temporal entre estructuras.
	F A L L A S	Idem anterior.	Comprende la génesis de fallas normales e inversas, pero tiene dificultades con las de desgarre, especialmente por lo que a la explicación de su génesis se refiere.	Distingue estructuras compresivas de distensivas aunque tiene dificultades para comprender la génesis de las segundas.	Idem anterior.

TABLA II (cont.)

*Algunos contenidos de Geología en función del estadio madurativo del alumno*

TEMA		ESTADIO DE LAS OPERACIONES CONCRETAS		ESTADIO DE LAS OPERACIONES FORMALES	
		2A. Inicial (7-10 años?)	2B. Avanzado (10-14?)	3A. Inicial (14-16?)	3B. Avanzado (16-18?)
P R O C E S O S	P R.  E X T E R N O S	Comprende la acción geológica de cada agente separadamente, pero no es capaz de inducir el agente a partir de una forma de modelado, ni de asociar la acción de varios agentes.	Distingue los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Capta el concepto de suelo y las diferencias con la roca madre.	Es capaz de diferenciar los procesos debidos a cada uno de los agentes externos, la formación de suelo y sus características más llamativas. Comprende los procesos de diagénesis y la relación sedimento-roca sedimentaria.	Emite hipótesis y diseña experiencias sencillas para comprobar la acción de los agentes externos, expresando los resultados en forma de tablas y gráficas. Puede conjugar ya la acción combinada de varios agentes para explicar un modelado sencillo, pero sin perspectiva temporal (varios dominios morfogénicos superpuestos).
	P R.  I N T E R N O S	Comprende el vulcanismo y sus manifestaciones sin relacionarlo con un magmatismo interno. Igual ocurre con los terremotos, sin asociarlos con tensiones internas.	Comienza a coordinar las diferentes manifestaciones volcánicas con un magma interior y, por lo tanto, con la posibilidad de plutonismo. Ello le permite empezar a comprender la génesis de las rocas magmáticas. Comienza a generalizar su visión de los terremotos.	Induce la importancia de la temperatura (y de la presión) en la fusión de los materiales y en el magmatismo. Comienza a comprender los procesos metamórficos más sencillos, pero sin captar bien sus condicionamientos. Empieza a asociar los terremotos con las fracturas y su génesis.	Explica los distintos tipos de rocas ígneas en relación con sus procesos genéticos. Capta mejor los procesos metamórficos, aunque con dificultades para la neoformación de minerales. Empieza a captar los procesos de formación de cordilleras montañosas, pero tiene dificultades para comprender las relaciones entre magmatismo, meta-morfismo, terremotos y orogénesis.
H I S T O R I A				Empieza a captar la noción lineal de tiempo histórico, pero no lo relaciona claramente con los sucesos geológicos. Tiene dificultades para explicar la aplicación cronológica de los fósiles.	Comprende la variación temporal de faunas, floras, modelados y procesos internos y comienza a captar los principios fundamentales de la Estratigrafía. Vislumbra la dinámica de la evolución biológica y puede emitir hipótesis sobre sus mecanismos. Puede llegar a comprender los principios de elaboración de una escala cronoestratigráfica.
A P L I C A C I O N E S		Comprueba que los materiales de su entorno sirven para la construcción: áridos, faldas, suelos, etc. Sigue explicaciones sencillas y monográficas sobre la prospección, explotación y aplicaciones de un determinado mineral o roca. Percibe que la búsqueda de combustibles es un fruto de los estudios geológicos.	Clasifica los materiales conocidos por él en función de su utilidad. Comienza a relacionar los procesos genéticos de las rocas con su ubicación y sus aplicaciones.	Capta perfectamente la noción de recursos renovables y no renovables y las implicaciones de futuro que conlleva. Va comprendiendo las razones económicas de la explotación de los recursos naturales y sus implicaciones medioambientales.	Lee e interpreta gráficas de producción, consumo y precios, concluyendo sobre los condicionamientos económicos resultantes para el país. Relaciona los ciclos geoquímicos de los elementos más importantes con sus procesos de explotación, la protección de los recursos y del medio ambiente y la calidad de vida.

explicativo que es preciso delimitar, y el establecimiento de sus límites es una importante tarea a realizar por los científicos.

Un concepto científico dado se puede definir de diversas maneras, en general con distintos «niveles de formulación». Cuanto más extenso es el campo de aplicación del concepto, menor es el número de caracteres que lo definen. Por ejemplo, el concepto de sólido, como «cuerpo con forma fija», es más simple y de mayor aplicación que el concepto de sólido cristalino, que implica una red espacial determinada con una distribución concreta de las partículas materiales. Para el profesor de Ciencias (como para cualquier profesor) es muy importante saber cuál es la presentación más adecuada del concepto en un determinado nivel curricular, y qué matizaciones del concepto deben ser propuestas en ese momento para ser presentadas sucesivamente después (con una concreta secuencia temporal).

En cualquier caso, está claro que los conceptos científicos no se encuentran aislados, sino que forman parte de una red compleja que afecta generalmente a varias disciplinas. Ello da pie a establecer «redes conceptuales», «campos conceptuales», «tramas conceptuales», etc., de los que no nos vamos a ocupar ahora (ver, por ejemplo, Novak y Gowin, 1988; Mayer, 1985; Heimlich y Pittelman, 1991; Gowin, 1981; una aplicación concreta a la granoclasificación de los sedimentos [Márques et al., 1996]; Galagovsky, 1993).

No cabe duda, por tanto, de que las ideas previas de los alumnos son una base de partida necesaria, y que la instrucción se debe diseñar para permitir que estas ideas se desarrollen y se cambien por las ideas que son aceptadas por los científicos. Esto es lo que desde el trabajo de Hewson (1981) se ha dado en llamar un «cambio conceptual», aspecto que ha dado lugar a numerosos trabajos (Posner et al., 1982; Osborne y Wittrock, 1983; Gil y Carrascosa, 1985, por ejemplo). Para que ocurra el cambio conceptual es preciso que el alumno, al estudiar una cuestión concreta, se dé

cuenta de que un hecho se opone a sus expectativas, no encaja en sus esquemas; no obstante, esta constatación, por sí sola, no cambia necesariamente tales esquemas; el cambio conceptual requiere tiempo y circunstancias favorables (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989), y una serie de características cuya enumeración ya ofrecieron Posner y otros (1982). Esto se puede concretar en una serie de «estrategias» adecuadas, como las que describieron Driver, Guesne y Tiberghien (1989) u otras similares.

Todas esas estrategias pretenden conseguir que el alumno desarrolle unos determinados hábitos mentales y adquiera la costumbre de aplicar un método científico de razonamiento; si es así, el cambio conceptual va acompañado de un «cambio metodológico», sobre el que ya llamaron la atención Gil y Carrascosa (1985). Ellos consideran que las ideas alternativas de los alumnos están ligadas a una «metodología de la superficialidad» que los conduce, ante un problema, a dar respuestas seguras, sin dudar y rápidamente, sin utilizar ni una observación ni un análisis crítico de la situación. Los autores sostienen que esta actitud persiste y se encuentra en los alumnos de los niveles superiores e incluso en los profesores (tanto en formación como en ejercicio) de los distintos niveles. Una dificultad añadida a este cuadro es que los métodos que emplean muchos profesores no difieren sustancialmente de los métodos que siguen los alumnos. Esto significa, como hemos visto anteriormente, que se requiere también un cambio metodológico en el profesorado para conseguir un aprendizaje de calidad.

## EN RELACIÓN CON LOS DISEÑOS CURRICULARES OFICIALES

Para nuestro objeto, ahora, parece suficiente esquematizar sucintamente las disposiciones oficiales en cuadros que permitan una visión rápida de conjunto; las tablas III, IV, V y VI pretenden cumplir esa finalidad. Más tarde se volverá



repetidamente sobre estos aspectos para intentar concretarlos como ha tratado de hacer ya Lucas (1996), aunque sólo de forma remotamente relacionada con nuestros objetivos.

### LA INTEGRACIÓN EQUILIBRADA DE TODOS LOS TIPOS DE CONTENIDOS

En esta norma ya se dijo que se trata de no ceñirse exclusivamente, en nuestro caso, a los aspectos puramente geológicos, sino relacionar, y conseguir que el alumno relacione, esos matices con todos los demás conocimientos del ambiente que le rodea

(suelo originado, seres vivos, procesos físicos y químicos implicados, etc.); las discusiones sobre la «enseñanza globalizada», la «enseñanza integrada», la interdisciplinariedad y la «transversalidad» han matizado todos estos aspectos en las tres últimas décadas (Carin y Sund, 1967; Unesco, 1967, 1968, 1968b, 1977, 1978; Martín, 1969; Knoll, 1971; Arranz, 1972; Leboutet, 1973; George et al., 1977; Giordan, 1978; Fernández-Urfa, 1979; Shayer y Adey, 1986; Claxton, 1984; Lillo y Redonet, 1985; Driver et al., 1989; Harlem, 1989; Aliberas, 1989; Osborne y Freiberg, 1991; Gil et al.,

TABLA III  
Contenidos en Educación Primaria (B.O.J.A. 20-06-1992)

Bloque	Objetivos	Contenidos
<b>El medio físico</b>	No se trata de plantear el estudio del medio desde una perspectiva compleja...Se pretende una aproximación al concepto de medio físico entendido como una unidad susceptible de ser analizada y entendida en su diversidad.	<i>El aire:</i> Características básicas. Importancia de algunos de sus componentes en funciones vitales (combustión y respiración). Instrumentos útiles para el análisis de sus características: barómetro, termómetro, anemómetro. <i>El agua:</i> Características observables. Diversidad de estados y formas en que se presenta. Principales usos y problemática en Andalucía. <i>Las rocas:</i> Algunas propiedades observables (color, dureza, textura, homogeneidad) en las más frecuentes de la comarca. Utilidad de las rocas. Los combustibles. Los minerales como componentes de las rocas. <i>El cielo:</i> El sol, la luna y las estrellas. La sucesión del día y de la noche. Las estaciones.
<b>Los seres vivos</b>	Establecer distintas categorías de organismos vivos, considerar la importancia que tienen para las personas... Un primer nivel se establecerá al separar las categorías de animal y vegetal, primero por la locomoción y, más tarde, por la alimentación. Se desarrollarán sus semejanzas y diferencias y las propiedades generales de todo ser vivo: nacer, crecer, reproducirse, morir. Conocimiento de los más frecuentes (vertebrados/invertebrados, árboles/arbustos/hierbas), sobre todo en sus funciones vitales. Iniciación a la Ecología: Relaciones alimentarias entre animales, plantas y población humana.	Seres vivos y seres inertes. Animales (vertebrados-invertebrados) y plantas más frecuentes en el entorno (árboles-arbustos-hierbas). Alimentación vegetal y animal. Reproducción vegetal, animal y humana. Relación con el medio (sentidos, movimientos...). Importancia de productores y descomponedores. Cadenas tróficas sencillas. Análisis y valoración de la intervención humana.

**TABLA III (cont.)**  
*Contenidos en Educación Primaria (B.O.J.A. 20-06-1992)*

<b>Bloque</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Contenidos</b>
<b>Factores y elementos que inciden en la salud</b>	Deberán abordarse los contenidos referidos al conocimiento de los elementos esenciales que hay que tener presentes para construir un concepto de salud como bien positivo. En una primera aproximación se trabajarán aspectos característicos de la biología humana.	Principales elementos constitutivos del cuerpo humano. Procesos de cambio y transformación biológica (ciclo vital). Control del propio cuerpo, cuidado e higiene corporal: limpieza de la piel, de los órganos de los sentidos, de los dientes, de la ropa y utensilios personales... Elementos del medio que inciden de forma directa en la salud: contaminación, clima, estilo de vida, costumbres alimentarias, etc.
<b>Salud y medio ambiente</b>	Las relaciones entre la salud y el medio socio-cultural han de considerarse bidireccionales. Conjunto de factores y requerimientos que el medio exige para una adecuada adaptación. Conductas y actuaciones de los sujetos que inciden en el equilibrio ecológico.	Analizar la relación existente entre factores geográficos y climáticos con el tipo de alimentación y vestido adecuados. Identificar y analizar conductas humanas de mayor y directa repercusión en el equilibrio ecológico: fuentes de contaminación y tipos. Reflexionar sobre la enfermedad y los accidentes, y posibilidad de intervención ante ellos: ayuda y primeros auxilios. Conocer y aplicar las principales medidas, personales y colectivas, de protección del medio que prevengan enfermedades y promuevan la salud.
<b>Salud, relaciones sociales y sexualidad</b>	Contribuir a desarrollar individuos mentalmente sanos ha de ser un aspecto contemplado en la totalidad de las áreas curriculares. Desde este campo concreto, debe realizarse un trabajo específico encaminado a desarrollar la capacidad de comunicarse y relacionarse con los demás, a la construcción de relaciones solidarias y cooperativas, a alcanzar una sexualidad humana sana y satisfactoria.	Análisis y discusión de normas de convivencia y resolución de conflictos interpersonales o sociales. Nociones sexuales específicas, cada vez más completas, que favorezcan un desarrollo igualitario entre los sexos, analizando el porqué de la discriminación de la mujer en nuestra cultura.
<b>Educación tecnológica</b>	Este campo progresará a lo largo de la etapa desde el montaje y la libre manipulación de objetos técnicos, hasta la creación de máquinas y aparatos sencillos para diversas finalidades. Si en un primer momento prevalecerá la faceta manipulativa, hacia el final de la etapa deberá predominar la faceta creativa.	Conocimiento y uso de los materiales más frecuentes en el entorno inmediato. Conocimiento y uso de herramientas sencillas. Conocimiento y uso de operadores tecnológicos básicos. Construcción de máquinas y juguetes elementales. Adopción de técnicas y métodos elementales de trabajo.

**TABLA IV**  
*Contenidos en ESO (B.O.J.A. 20-06-1992)*

<b>Bloque</b>	<b>Primer Ciclo</b>	<b>Segundo Ciclo</b>	<b>Especif. 4º</b>
<b>Los seres vivos</b>	-Concepto de clasificación: criterios y utilidad. -Relaciones entre tipo de nutrición, modelo de organización y condiciones del medio. Distribución de los seres vivos. -El suelo. -Importancia de la diversidad biológica. Especies endémicas andaluzas. -Modelos de org. animal. -Modelos de org. vegetal.		

TABLA IV (cont.)  
 Contenidos en ESO (B.O.J.A. 20-06-1992)

Bloque	Primer Ciclo	Segundo Ciclo	Especif. 4º
<b>La unidad de funcionamiento de los seres vivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alimentación: materia y energía.</li> <li>-Productores y consumidores.</li> <li>Importancia de la fotosíntesis.</li> <li>-Reproducción de animales y plantas.</li> <li>-Las funciones de relación.</li> <li>-El nivel de org. celular: célula vegetal y animal.-El microscopio óptico.</li> <li>-Microorganismos: diversidad y utilidad para el hombre.</li> </ul>		
<b>Las personas y la salud</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Introducción a las relaciones entre estructura y función en los aparatos que intervienen en la nutrición humana.</li> <li>-Las dietas y la salud.</li> <li>-Producción, conservación y comercialización de alimentos.</li> <li>-Influencia de factores sociales, drogas y estimulantes en la salud mental.</li> <li>-Cambios corporales y fisiológicos relacionados con la maduración sexual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Relaciones entre estructura y función de los diferentes aparatos que intervienen en la nutrición humana.</li> <li>-El sistema neuroendocrino.</li> <li>Elaboración de comportamientos y respuestas.</li> <li>-Influencia de factores sociales, drogas y estimulantes en la salud mental.</li> <li>-Reproducción y sexualidad.</li> <li>Cambios corporales y fisiológicos.</li> <li>-Factores biológicos, psicológicos y sociales.</li> </ul>	
<b>Los materiales terrestres</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Las rocas más frecuentes en la corteza: características, identificación y utilidad.</li> <li>-Composición de las rocas. Minerales más importantes. Su utilidad económica.</li> <li>-Origen y formación de las rocas sedimentarias.</li> <li>-Elaboración de claves sencillas.</li> <li>-El actualismo como método de análisis e investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Origen de las rocas.</li> <li>-Características de las rocas relacionadas con su origen.</li> <li>-Disposición de las rocas en el campo.</li> <li>-Las rocas sedimentarias, magmáticas y metamórficas.</li> <li>-Reconocimiento e identificación de las rocas más frecuentes.</li> </ul>	
<b>Cambios en la superficie sólida del planeta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Procesos de meteorización.</li> <li>-Conceptos de erosión, transporte y sedimentación.</li> <li>-El agua como agente geológico.</li> <li>-La desertización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meteorización física y química.</li> <li>-Agentes geológicos externos.</li> <li>-Catástrofes naturales y su relación con los procesos geológicos externos.</li> <li>-Las rocas y el relieve.</li> <li>-Representación del relieve.</li> <li>-Evolución del relieve.</li> </ul>	MANIFESTACIONES DE LA ENERGÍA INTERNA DE LA TIERRA <ul style="list-style-type: none"> <li>-Volcanes y terremotos.</li> <li>-Deformaciones de las rocas.</li> <li>-El origen de las montañas: interpretaciones históricas.</li> <li>-La tectónica de placas.</li> </ul>
<b>Los cambios geológicos en el tiempo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Huellas de procesos geológicos externos.</li> <li>-Los fósiles y las rocas sedimentarias.</li> <li>Procesos de fosilización.</li> <li>-Los cambios geológicos como indicadores del paso del tiempo.</li> <li>-Procesos graduales y procesos catastróficos.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Indicadores de cambios geológicos.</li> <li>-Catastrofismo y uniformitarismo.</li> <li>-Cronología relativa.</li> <li>-Utilización de los principios de horizontalidad, superposición y continuidad de los estratos.</li> <li>-Los fósiles y la reconstrucción de los ambientes antiguos.</li> <li>-Caracterización de algunos principales grupos de fósiles.</li> <li>-La historia de la Tierra. Instrumentos para su reconstrucción.</li> </ul>
<b>La tierra en el universo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema solar: componentes y características.</li> <li>-Interpretaciones históricas de la posición de la Tierra: los sistemas geocéntrico y heliocéntrico.</li> <li>-El Sistema Solar en el Universo</li> <li>-Representación de escalas.</li> <li>-Construcción de instrumentos astronómicos sencillos</li> </ul>		

TABLA IV (cont.)  
*Contenidos en ESO (B.O.J.A. 20-06-1992)*

Bloque	Primer Ciclo	Segundo Ciclo	Especif. 4º
<b>Interacciones en el medio natural</b>		-Concepto de ecosistema. Biocenosis y biotopo. -Elementos y factores del ecosistema. -Niveles de organización: individuos, poblaciones y comunidades. -Relaciones en las poblaciones y las comunidades. -Las interacciones con el medio: distribución y abundancia de los seres vivos. -Habitat y nicho ecológico. Redes y cadenas tróficas. Pirámides de población. -Ecosistemas de Andalucía.	<b>LOS CAMBIOS EN EL ECOSISTEMA</b> -Flujo de energía y ciclos de materia. -Ritmos diarios y anuales. -Sucesión ecológica. -Equilibrio dinámico en el ecosistema. -La extinción de especies. -Fijismo y evolucionismo. -El hombre y la biosfera: relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad.
<b>PROPIEDADES DE LA MATERIA</b>			
<b>LA NATURALEZA DE LA MATERIA: CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>			
<b>ENERGÍA Y CALOR</b>			
<b>LUZ Y SONIDO</b>		<b>ELECTRICIDAD</b>	
			-MOVIMIENTO -FUERZAS -ENERGÍA Y CALOR

TABLA V  
*Bachillerato: Biología-Geología (Curso 1º)*

Objetivos	Contenidos
1. Comprender los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes y generales de la Biología y la Geología... 2. Aplicar los conceptos, leyes, teorías y modelos a situaciones reales y cotidianas. 3. Analizar críticamente hipótesis y teorías contrapuestas que permitan desarrollar el pensamiento crítico y valorar sus aportaciones... 4. Utilizar con cierta autonomía destrezas investigativas, tanto documentales como experimentales, reconociendo el carácter de la ciencia como proceso cambiante y dinámico. 5. Desarrollar actitudes que suelen asociarse al trabajo científico, tales como la búsqueda de información exhaustiva, la capacidad crítica, la necesidad de verificación de los hechos, el cuestionamiento de lo obvio y la apertura ante nuevas ideas. 6. Integrar la dimensión social y tecnológica de la Biología y la Geología, interesándose por las realizaciones científicas y tecnológicas y comprendiendo los problemas que su evolución plantea a la naturaleza, al ser humano, a la sociedad y a la comunidad internacional. 7. Comprender el sentido de las teorías y modelos biológicos y geológicos como una explicación de los fenómenos naturales, valorando su aportación al desarrollo de estas disciplinas. 8. Explicar expresiones «científicas» del lenguaje cotidiano según los conocimientos biológicos y geológicos adquiridos, relacionando la experiencia diaria con la científica.	1. Aproximación al trabajo científico. 2. Ciencia, Tecnología y Sociedad. 3. Origen y evolución de la Tierra. 4. Dinámica y evolución de la litosfera. 5. Origen y evolución de los seres vivos. 6. El mantenimiento de la vida. 7. La perpetuación de la vida. 8. La herencia: un enfoque mendeliano.

TABLA VI

*Bachillerato: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (2º curso)*

Objetivos	Contenidos
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprender el funcionamiento de los sistemas terrestres así como las interacciones existentes entre ellos, pudiendo explicar las repercusiones mundiales de algunos hechos aparentemente locales.</li> <li>2. Analizar las causas que dan lugar a riesgos naturales y conocer alguna medida para prevenir o corregir los mismos.</li> <li>3. Conocer la existencia de límites para la explotación de algunos recursos, valorando la necesidad de adaptar el uso a las posibilidades de renovación.</li> <li>4. Evaluar la rentabilidad global de la explotación de los recursos naturales, incluyendo sus posibles utilidades y los impactos provocados.</li> <li>5. Investigar los problemas ambientales, utilizando métodos científicos, sociológicos e históricos...</li> <li>6. Utilizar técnicas variadas para abordar problemas ambientales, de tipo químico, biológico, geológico y estadístico.</li> <li>7. Tomar conciencia de que la naturaleza tiene sus límites y que para asegurar la supervivencia no hay que dominar la naturaleza, sino aprovecharla respetando sus leyes.</li> <li>8. Mostrar actitudes para proteger el medio ambiente escolar, familiar y local, criticando razonadamente medidas que sean inadecuadas y apoyando las propuestas que ayuden a mejorarlo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aproximación al trabajo científico.</li> <li>2. La humanidad y el medio ambiente.</li> <li>3. Los sistemas terrestres.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- La geosfera.</li> <li>- La atmósfera y la hidrosfera.</li> <li>- La biosfera.</li> <li>- Las interfases.</li> <li>- El suelo.</li> </ul> </li> <li>4. Las relaciones entre la humanidad y la naturaleza.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recursos.</li> <li>- Riesgos.</li> <li>- Impactos ambientales.</li> </ul> </li> <li>5. Medio ambiente y desarrollo sostenible.</li> </ol>

1991; Llorens, 1991; Busquets et al., 1993; MEC, 1993; Yus, 1996). Incluso podemos contar con algunos ejemplos de aplicación al aula desde edades tan tempranas como la educación infantil (por ejemplo, Almagro, 1997), hasta la Educación Secundaria (como Lama et al., 1995, aunque se refiere a las relaciones del enlace químico con la electricidad y el electromagnetismo, y utiliza sólo la teoría de la elaboración aplicada a la UVE de Gowin).

Esas reflexiones llevan de la mano a la discusión sobre las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad, en las que tanto se ha insistido también (ver, por ejemplo, Solomon, 1983, 1987, 1992). Cuando hablo de las relaciones entre la Ciencia, la Técnica y la Sociedad, quiero referirme a las influencias mutuas entre el estado y la evolución de los conocimientos científicos, los procedimientos de los que se sirve el hombre como aplicación de esos conocimientos, y las implicaciones que ambas cosas tienen en las ideas y en la forma de pensar de la mayoría de las personas. Ya hace años se generalizó la costumbre de representarlas con las siglas CTS, aunque entre los anglosajones la T se refería, en principio, a la Tecnología; no obstante, está claro que ésa

no es una denominación correcta, porque la «Tecnología» es otra cosa, como también Solomon (1992) ha procurado corregir allí.

Actualmente es imprescindible reflexionar sobre esas relaciones mutuas, porque está cada vez más claro que es errónea la concepción que Holton (1979) recoge, refiriéndose a la Física («...ciencia separada e independiente de las restantes disciplinas...»), pero que podemos hacer extensiva a todo el campo científico en relación con la Técnica y el pensamiento humano en general.

La Ciencia, la Técnica y la Sociedad actúan cada una sobre las otras de modos muy diversos. La actuación más fácil de comprender es la influencia que la Ciencia tiene sobre la Técnica y sobre la Sociedad. La invención de una máquina o la fabricación de un producto nuevo, por ejemplo, se derivan directamente de los conocimientos teóricos existentes en un momento determinado; el invento se experimenta luego en los laboratorios y se comprueba su posible aplicación práctica; finalmente, el producto se integra en el acervo de los materiales que la Técnica maneja, se fabrica abundantemente y se incorpora a la vida ordinaria de la Sociedad. Por su parte,

es cada vez más frecuente que la Sociedad reclame de la Técnica unos recursos no existentes, cuyo rendimiento se presume será mejor que las alternativas en uso. Esto obliga a los científicos a investigar, dando lugar, a veces, al nacimiento de un cuerpo nuevo de conocimientos que pasan a formar parte del patrimonio científico. Por ejemplo, buena parte de la Geofísica debe su desarrollo, primero, al interés por dilucidar la dinámica y las causas de los terremotos, y después, al interés por llevar a cabo más eficazmente la prospección del petróleo y de otros materiales naturales.

También la Ciencia influye en la Sociedad al menos de dos maneras. En primer lugar por los cambios que suscita en los métodos de producción y por la incidencia de los descubrimientos en la ideología de la época (véase, por ejemplo, Mustar, 1988, que hace recuento de las empresas fundadas por investigadores en Francia recientemente). En segundo lugar, porque va introduciendo su propia ideología científica; las grandes revoluciones en el conocimiento del Universo han influido en el pensamiento humano. A este propósito, según Bernal (1979), los historiadores profesionales no han tenido casi nunca la cualificación necesaria para explicar o, al menos, dar noticia de las contribuciones y la influencia de la Ciencia; mientras que, por otra parte, los historiadores de la Ciencia se han ocupado muy poco de las consecuencias históricas del desarrollo del conocimiento de la naturaleza.

De forma similar, la Técnica, al aplicar los conocimientos de la Ciencia, cambia el modo de vida de las personas y, como consecuencia, cambia su escala de valores; y la ideología de una Sociedad determina las líneas prioritarias de investigación y el desarrollo técnico de la comunidad. Esta misma ideología de la sociedad y de los científicos asimila los conocimientos científicos dentro de unos esquemas de pensamiento tales, que conducen a la elaboración de la Ciencia por unos senderos determi-

nados. A unas conclusiones similares había llegado Rosenthal (1989), que sistematizó los diferentes aspectos de estas relaciones en una serie de categorías que ilustran muy bien las vinculaciones con multitud de otras ciencias (interdisciplinariedad).

De todas formas, las relaciones CTS no son de total dependencia; incluso no es bueno que lo sean. Por un lado, puede ser prudente limitar algunas de las aplicaciones técnicas de los descubrimientos científicos (como las pruebas con armas nucleares, o la ingeniería genética en algunos campos como el de la clonación de animales, que se ha destapado a comienzos de 1997) que podrían llegar a poner en peligro el propio progreso de la humanidad, y por ende el de la Técnica y el de la Ciencia. Por otro, sería un error grave para el desarrollo de la Ciencia el someter ésta a los fines técnicos y sociales y prohibir o dificultar el avance de la ciencia básica. Un control oficial de la Ciencia, dada la imposibilidad de predecir sus resultados, significaría la pérdida, no sólo de la propia Ciencia, sino de nuestras libertades fundamentales y de la esperanza en un futuro mejor.

Está claro, pues, que la Ciencia y la Técnica están en la casa y en la calle y forman, cada vez más, parte de la cultura ciudadana. Pero los programas tradicionales y los libros de texto no suelen considerar este hecho. La Ciencia se presenta independientemente de la realidad diaria, y sus implicaciones sociales se dejan para ser estudiadas en las materias de Ciencias Sociales. Resulta justificada la queja de los que aducen que los alumnos se encuentran con una «ciencia del aula» que no tiene nada que ver con la «ciencia de la naturaleza». En consecuencia, debe considerarse imprescindible introducir estos aspectos en nuestros programas (Vílchez, 1994).

Pero, aun sin entrar en enfoques tan abarcadores, resulta ineludible plantearse cuántos y cuáles procedimientos científicos es necesario o conveniente introducir

en el aprendizaje de cada nivel curricular, o qué grado de insistencia se debe poner en conseguir ciertos hábitos de discurso mental en los alumnos, como también se viene señalando en estas últimas décadas (Lockard et al., 1981; Coll et al., 1992; Lawson, 1994; Pro, 1995).

Finalmente, debe resultar a todas luces evidente cómo los conocimientos científicos determinan la creación de nuevos vocablos, y cómo el dominio del propio lenguaje influye en la comprensión y en la capacidad de explicar los fenómenos que pueden alcanzar los alumnos (Catalá y Vilá, 1995; Sanmartí, 1995). Sostengo que es extraordinaria la importancia que todo profesor debe dar al aprendizaje y al dominio del propio idioma; hace mucho tiempo que vengo insistiendo en ese aspecto, tanto más cuanto mayor es el deterioro que observo que muestran las sucesivas promociones de alumnos; por ello me ha resultado estimulante comprobar que también otros profesores comparten la misma inquietud y consideran que «el profesor de Ciencias es también profesor de Lengua» (Serra y Caballer, 1997) o más, incluso: «que todo profesor que enseña en español, es profesor de Lengua española» (Lázaro, 1997). Por esa razón insisto de nuevo en la necesidad de integrar este aspecto, clara y expresamente, en todos nuestros objetivos de enseñanza, tal y como yo sigo haciendo el primer día de clase con mis alumnos, y otros profesores piensan (cf. Sutton, 1997; Caamaño, 1997).

#### EN RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA DE LA CIENCIA

En este campo voy a intentar resumir el amplio abanico de las características generales condicionadas por la experimentalidad de las Ciencias y sus recursos didácticos, y las peculiaridades particulares del conocimiento geológico.

#### CONDICIONANTES EN RELACIÓN CON LA EXPERIMENTALIDAD DE LAS CIENCIAS

La experimentalidad de las Ciencias parece exigir que, de acuerdo con la madurez de los alumnos, se haga el esfuerzo necesario por ofrecerles ocasiones para que trabajen como científicos, piensen como científicos y se equivoquen como científicos; eso supone utilizar todos los recursos didácticos aprovechables en esta dirección, especialmente los más típicamente científicos, como los problemas, los experimentos y los modelos experimentales. Por esa razón, comenzaré por ofrecer algunas reflexiones sobre los recursos didácticos.

#### LOS RECURSOS DIDÁCTICOS

En una acepción amplia, recurso es todo aquello que sirve para lograr un fin o un objetivo; en este sentido, tanto los contenidos como la metodología pueden considerarse recursos para el desarrollo de los objetivos educativos; y es en este mismo sentido como se puede hablar de la Historia de la Ciencia como recurso en la enseñanza de las Ciencias.

Una acepción más restringida es la que lo entiende como material didáctico de todo tipo, desde el gráfico o la maqueta más elemental hasta los medios audiovisuales más avanzados y la última generación de ordenadores al servicio de la enseñanza, que centra más el concepto en recursos materiales. Limitándonos a esta segunda acepción, y sin pretender ninguna clasificación ni enumeración exhaustiva, podemos distinguir los recursos clásicos, como la pizarra y el libro de texto, de los tecnológicos; dentro de estos últimos destacan los medios audiovisuales y el ordenador. Dentro del aula misma hay que hacer referencia a recursos comunicativos cuya utilización y dominio hay que potenciar, como son los murales, la biblioteca de aula, los tebeos, etc.; y como recursos extraescolares con un claro carácter formativo, ya dependientes de otras instituciones,

cabe mencionar museos, zonas naturales, fábricas, etc. Algunos de ellos, como el libro de texto, los medios audiovisuales o el ordenador han sido muy analizados (Salvat, 1987; Solbes y Vílchez, 1991; Perales, 1987; Renner et al., 1990; Otero, 1990; Bartolomé, 1989; Mas-Pujadas et al., 1991; Martínez, 1991; Marcelo, 1991; Fernández-González, 1983; Jacob, 1991; Hatton, 1992); me centraré, pues, en los aspectos más particularmente geológicos.

## Los problemas

No constituye un descubrimiento didáctico reciente la utilización de problemas en la enseñanza, si bien últimamente se vienen dedicando muchos trabajos al estudio de este aspecto, no sólo en el terreno específico de las ciencias experimentales, sino también en el más general de la Psicología. La resolución de problemas en Ciencias Experimentales se presta muy bien a la investigación sobre los procesos cognitivos que se ponen en juego. Es sabido que el método que un alumno emplea para realizar esta tarea es indicador de sus esquemas de razonamiento.

El concepto de problema ha cambiado entre los educadores porque hoy se entiende como tal una situación no prevista que pone en juego estrategias cognitivas o, según Krulik y Rudnik (citados en Gil y otros, 1991), «una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla». De este modo, se distingue entre *un problema* y *un ejercicio de aplicación*; un ejercicio de aplicación consiste en colocar al alumno en situación de que recuerde algunos conocimientos que ya tiene para resolver una situación conocida, o proporcionarle datos numéricos para que aplique un algoritmo y encuentre una solución; un problema, por su parte, es una situación que le resulta nueva al individuo (aunque no tiene por qué ser psicológicamente conflicti-

va), por lo que para entenderla o resolverla tiene que utilizar conceptos, procedimientos e incluso actitudes de las que ya dispone, pero que organiza, reestructura y aplica de una forma nueva. Por lo tanto, el alumno, ante un problema, tiene que establecer relaciones entre los conceptos implicados y buscar estrategias que le vayan aproximando a la solución, hasta encontrarla.

En Ciencias Experimentales se ha sido, generalmente, muy pragmático a la hora de resolver los problemas, y esto se refleja, en cierto modo, en la metodología utilizada por los profesores y por los autores de libros de texto; sin embargo, los métodos algorítmicos están disminuyendo. Es frecuente que los profesores de Ciencias de los niveles medios (quizá menos en Geología) «expliquen» teoría y, cuando se supone que ésta se domina, procedan a resolver problemas que sirven de aplicación. Este método desaprovecha el buen recurso que son los problemas para llevar a cabo un verdadero aprendizaje, y transforma la actividad en una operación rutinaria que se resolverá con éxito si se ha tenido un buen entrenamiento.

Los llamados «problemas» han dejado de ser meros ejercicios de aplicación de fórmulas o conocimientos descriptivos y han pasado a constituir un objetivo primordial del proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto de conceptos como de habilidades. Cuando se busca que los alumnos tengan un aprendizaje significativo hay pocas diferencias entre los objetivos que se persiguen cuando se pretende que los alumnos aprendan *teoría*, cuando realizan *prácticas de laboratorio* y cuando resuelven problemas «de papel y lápiz».

Otra cuestión diferente es la selección del nivel de dificultad de los problemas con vistas a su adecuación al nivel de desarrollo de los alumnos. Se ha comprobado que algunos problemas con una misma estructura y que, en principio, deberían exigir el mismo nivel de desarrollo para su resolución, muestran dificultades diferentes



(Niaz, 1988). Las diferencias las atribuye Niaz a lo que Pascual-Leone denomina *demanda-M*, que es un guarismo representativo de las exigencias para procesar la información (Pascual-Leone, 1980). Por ejemplo: muestra que la conservación de sustancia exigiría de los alumnos una demanda-M de 3; la conservación del peso una demanda-M de 4 y la conservación del volumen una demanda-M de 5; es decir, exige un mayor desarrollo admitir que el volumen no varía que admitir que no lo hace la cantidad de sustancia o el peso, siempre que estas cuestiones estén insertas en tareas que, por lo demás, tienen una misma estructura.

Niaz ha llevado a cabo trabajos en los que determina, por una parte, la demanda-M de algunos problemas de Química General, y, por otra parte, ha puesto a punto un método ideado por Pascual-Leone para determinar cuál es la llamada *capacidad-M* ( $M_i$ ) de los alumnos, y comprueba que existe correlación entre ambos indicadores (Niaz, 1989). Se trata, por tanto, de un intento de establecer relaciones fundamentadas entre la capacidad de los alumnos y la estructura de los problemas que se les proponen, que resultará muy interesante investigar también en Geología.

Por su parte, Frazer y Sleet (1984) analizaron los procedimientos que siguen los estudiantes para la resolución de los problemas y propusieron métodos de aprendizaje que se pueden utilizar también en la industria. Pestana (1987) ha analizado con detalle las causas de que los alumnos cometan errores en la resolución de problemas y las implicaciones que ello tiene para la enseñanza. Kempa (1986) ha estudiado las relaciones que existen entre las capacidades de resolución de problemas de los alumnos y sus esquemas conceptuales, y ha analizado los errores que cometen. Esos aspectos y otros similares ya han sido comentados por Garret (1980), Bentley y Waths (1989), Lock (1990, 1991), Wheatley (1991) y West (1992).

Desde hace muchos años vengo tratando de conseguir que la resolución de problemas sea una actividad totalmente normal e incluso muy frecuente dentro del trabajo habitual del aula, como también Caballer (1994) propone y otros profesores han ensayado (Jaén y Bernal, 1993; Jaén et al., 1992; G<sup>a</sup> de la Torre et al., 1993; Perales, 1993), dándoles a los problemas un carácter cada vez más abierto. Para ello procuro tener en cuenta tres aspectos concretos, relacionados con la naturaleza del problema, con su enunciado y con su resolución.

*Naturaleza del problema.* Tras realizar algunos ejercicios sencillos de aplicación directa, se debe pasar a otros, también sencillos, pero cualitativos, en los que los estudiantes relacionen sus conocimientos de Física, de Química, de Biología y de Geología para interpretar un determinado fenómeno natural; posteriormente se irán planteando problemas más generales en esa misma línea, combinándolos con algunos que exijan soluciones cuantitativas.

*Enunciado del problema.* En relación con este aspecto subrayo especialmente dos matices formales y uno de motivación. Desde el punto de vista formal, en primer lugar, el problema debe ser enunciado con un lenguaje fácilmente interpretable por el alumno, pues de lo contrario se convierte en una adivinanza o un jeroglífico y se introduce un elemento distorsionador que impide detectar claramente la razón de la no resolución del problema (aspecto totalmente condicionante cuando el problema se utiliza con finalidades evaluadoras); en segundo lugar, deben graduarse adecuadamente los datos o «pistas» necesarios para la resolución del problema. Desde la perspectiva de la motivación para resolverlo, parece inexcusable plantear problemas que impliquen situaciones reales y con datos verosímiles; los clásicos problemas totalmente abstractos e impersonales (de móviles, de circuitos, de reacciones químicas, de sólidos cristalográficos, etc.) corren el peligro de no

ofrecer al alumno ni un atisbo de interés para intentar resolverlos.

*Metodología de resolución del problema.* Los problemas, igual que tantos otros recursos didácticos de interés, pueden plantearse al comienzo de una actividad nueva o al final del aprendizaje realizado. En el primer caso, asumen el papel de actividad motivadora para despertar el interés por aprender lo necesario para resolverlos; en el segundo, pretenden consolidar lo aprendido, ayudar a una comprensión más matizada, y proporcionar la ocasión de profundizar en la operatividad del conocimiento, desarrollando la capacidad de aplicación.

En el primer caso son preferibles problemas muy globales, abiertos, que permitan multitud de sugerencias de solución; su planteamiento debe hacerse en general para toda la clase, aunque sea útil dejar a los alumnos trabajar algún tiempo en grupos pequeños antes de poner en común todos los matices, variables, medidas, etc. necesarios para su solución.

En el segundo caso, sin embargo, será preferible que el problema se afronte individualmente (o en grupos pequeños), después de haber desarrollado ampliamente los aspectos teóricos implicados; y parece más conveniente plantear primero los problemas más específicos, para ir aumentando progresivamente el número de variables implicadas; tanto para unos como para otros, es imprescindible analizar conscientemente los siguientes aspectos:

- *Cuestión planteada y conocimientos implicados.*
- *Planteamiento del problema* en los términos científicos adecuados (con traspaso a un lenguaje numérico o matemático si es necesario).
- *Resolución* con la estrategia que parezca más idónea.
- *Análisis del resultado* en función de su verosimilitud y de su coherencia con los datos, y revisión de comprobación de todo el proceso.

## El laboratorio

Existe el convencimiento extendido entre los profesores de Ciencias de que la realización de experiencias de laboratorio es esencial para el aprendizaje de estas materias. A pesar de ello, muchos de estos mismos profesores sostienen que las experiencias de laboratorio suponen un obstáculo para el aprendizaje de la asignatura dada la extensión de los cuestionarios, que no se cubrirían si se dedica una parte importante del tiempo a estas actividades experimentales (Hodson, 1992 y 1994).

Por otra parte, algunos trabajos de investigación muestran que el diseño de las experiencias corresponde a tareas rutinarias, en las que los alumnos no realizan actividades creativas (Giordan y otros, 1983) sino que, más bien, siguen las indicaciones de una receta (Penick y Yager, 1986). Esta situación generó, como reacción, el desarrollo del modelo de *enseñanza por descubrimiento* con experiencias abiertas, en las que los alumnos eran los organizadores de sus propias actividades. El fracaso de esta tentativa se admite hoy día de manera generalizada y mi propia experiencia con diversos tipos de prácticas estructuradas según esos esquemas también lo confirma, incluso con alumnos de 18 años o más; con estos últimos, en diversos cursos de Licenciatura, algunas actividades de este tipo resultan imprescindibles para adquirir adiestramiento técnico, pero enseguida deben abordarse alternativas más imaginativas. Una práctica en la que los alumnos tienen que seguir simplemente un guión y otra inductivista, por descubrimiento no guiado, tienen en común que en ninguno de los dos casos los estudiantes participan en la elaboración de su conocimiento (González, 1995).

Yo también afirmo que las prácticas son un recurso muy eficaz para lograr un objetivo fundamental que debe regir en la enseñanza de las Ciencias (conseguir que los alumnos conozcan y practiquen el

método científico), y resultan imprescindibles para un aprendizaje significativo de las Ciencias; pero sostengo que esa afirmación requiere un análisis detallado sobre el papel que se asigna a estas experiencias en el proceso de aprendizaje y en la consecución de los objetivos educativos.

Está abierto aquí un importante campo de investigación en busca de datos fiables que permitan corroborar la eficacia de las prácticas de laboratorio y justifiquen la gran inversión de tiempo, energías y recursos que se necesita para su montaje. No obstante, este análisis es especialmente necesario porque, incluso entre los profesores que atribuyen un papel primordial a los trabajos prácticos de laboratorio, no todos parecen coincidir en los objetivos que se pueden conseguir con ellos. Según Lynch (1987), cuando un grupo de profesores muestra su aprobación sobre el trabajo práctico, es probable que cada uno de estos profesores tenga en su mente objetivos muy dispares. De acuerdo con este autor, los fines de las prácticas de laboratorio, tal como las ven los profesores, pueden agruparse en cinco categorías:

- Para enseñar habilidades prácticas y técnicas de laboratorio.
- Para introducir en la práctica del método científico.
- Para intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos.
- Para motivar.
- Para promover actitudes científicas en los alumnos.

Estas categorías plantean los correspondientes interrogantes sobre si se cumplen (y, en su caso, cómo) los objetivos implicados en ellas (ver, por ejemplo, Driver, 1975; Hodson, 1994; Gauld y Hukins, 1980; Gil, 1993; González, 1995; Caamaño, Carrascosa y Oñorbe, 1994; Lillo, 1994; Watson, 1994). Una aplicación concreta a la Geología la ofrece Álvarez (1994); y un esquema resumido de aplicación práctica al reconocimiento de rocas y minerales en el laboratorio se encuentra en Gallegos (1997).

Finalmente, los trabajos en el laboratorio ofrecen una excelente ocasión para aplicar un programa de *técnicas de razonamiento (técnicas de enriquecimiento instrumental)* con las que, según Strang y Shayer (1993), se obtienen mejores resultados en el estudio de las Ciencias Experimentales; en ese trabajo se pueden ver las operaciones que ellos proponen, estructuradas en tres niveles (Entrada, Elaboración y Salida), y que son aplicables, de modo general, a las actividades en el laboratorio.

### El campo

Cuando los profesores de Ciencias Naturales programamos las actividades que queremos que nuestros alumnos realicen, tenemos en cuenta la conclusión, repetidamente comprobada y bien fundada, de que el aprendizaje se favorece y se refuerza de forma eficaz cuando el alumno participa activamente; por eso no olvidamos que la realidad (en nuestro caso, la naturaleza) se encuentra fuera del aula; y somos conscientes de que, aunque es cierto que mediante algunas actividades-experiencias podemos acercar al alumno a determinados aspectos de la realidad, esta visión no deja nunca de ser muy parcial y corre el peligro de quedarse fuertemente deformada. Sólo mediante «clases de campo», sobre todo en Geología, podrán nuestros alumnos verificar los conceptos teóricos estudiados en clase o, en lo posible, plantearse los interrogantes básicos cuyo esclarecimiento progresivo va conduciendo al estado de conocimientos a que pueden llegar también ellos paulatinamente.

La idea de considerar el trabajo práctico como una parte integrante de la enseñanza y su utilidad para conseguir aprendizajes más consistentes en el campo de las Ciencias Naturales es ya añeja; esta consideración se encuentra expresada en España casi desde el momento mismo en el que aparecen las Ciencias Naturales como asignaturas constantes en los currículos de la educación

obligatoria (Rioja, 1923; Valls y Anglés, 1932). Desde entonces, y a lo largo de todo el siglo, la mayor parte de los profesores siguen estando de acuerdo en conceder una importancia acusada al desarrollo de las actividades prácticas en la enseñanza de las Ciencias Naturales, incluidas, claro está, las salidas al campo (Vidal-Box, 1960; Sequeiros y Pedrinaci, 1993).

Pero no parece que se haya producido una integración real de las actividades experimentales en las programaciones concretas y en las secuencias de aprendizaje que se desarrollan generalmente en los centros. Da la impresión de que ni en la mayoría de los proyectos elaborados bajo la influencia del modelo de aprendizaje por descubrimiento de Bruner, ni en los reajustes llevados a cabo desde el enfoque ausubeliano del aprendizaje por recepción significativa, se ha dado un avance en este sentido (Gil y otros, 1991), como ya se ha comentado sobradamente en relación con los enfoques constructivistas de estos últimos años.

Por ello, ya Gallegos y Álvarez (1983), retomando las antiguas ideas de Kerschensteiner (1930), ofrecían algunas sugerencias metodológicas en esta línea; estaban convencidos de que plantear al alumno interrogantes más o menos problemáticos en relación con su experiencia cotidiana de la naturaleza debe forzarlo a elaborar hipótesis capaces de solucionar las dificultades, y a construir nuevos esquemas mentales que ofrezcan soluciones coherentes y convincentes, tanto para los hechos mismos como para sus posibles relaciones recíprocas, causales o no.

Desde entonces vengo propugnando que el profesor no debe ser un mero guía o cicerone que cuenta una historia muy bonita, bien estructurada y acabada de las estructuras, elementos geológicos y biológicos que se van a ver o se están contemplando; sino que, por el contrario, debe actuar como director-orientador del proceso de observación y análisis de los alum-

nos para que estos lleguen a sus propias conclusiones. Dirigirá, pues, la atención a los aspectos más importantes, incitará a emitir hipótesis de trabajo, sugerirá aspectos o cuestiones relacionadas con lo que se está viendo... y, en todo caso, moderará las discusiones y reconducirá los puntos de vista erróneos en función de la coherencia con lo que se está observando (Gallegos y Álvarez, 1983, p. 6). Estas ideas se plasmaron posteriormente en otros dos ejemplos concretos de itinerarios geológicos que, además, ofrecían un esquema de secuenciación curricular para alumnos desde 12 a 20 años (Gallegos, 1985, 1986).

Actualmente son ya pocos los profesores que ponen en duda el relevante papel que pueden representar este tipo de actividades para alcanzar el dominio, tanto de contenidos conceptuales (conocimiento de nuestro entorno), como para cubrir objetivos actitudinales y procedimentales: contacto directo con el medio, motivación intrínseca, metodología científica específica, etc. (King, 1984; Cervera y Pardo, 1987; Brañas et al., 1988; G<sup>a</sup> de la Torre, 1991; Pérez-González, 1992; York, 1992; Anguita y G<sup>a</sup> de la Torre, 1992; Brusi, 1992; Jaén y Bernal, 1993; Gallegos, 1996); aunque se presenten ciertas dificultades para conseguir una adecuada evaluación de su rendimiento (Vilaseca y Bach, 1993; Sánchez, Vázquez y Llorente, 1994). Éstas son las razones que mueven a multitud de profesores, independientemente del nivel curricular en que desarrollan su actividad, a incluir las salidas al campo en sus programaciones de aula, a pesar de las dificultades o los inconvenientes que pueden entrañar este tipo de actividades.

No obstante, se sigue discutiendo cuál sea el tipo de aprendizaje que se produce en las salidas al campo, tal como generalmente parece que se siguen realizando; algunos de los autores últimamente citados piensan que, tanto las salidas al campo como la mayoría de las actividades de tipo práctico que se suelen realizar, normalmente no

establecen unos claros y fuertes vínculos conceptuales con lo que se suele llamar «la parte teórica»; y esto, muy probablemente, puede dificultar un aprendizaje significativo (Tamir, 1991; Hodson, 1992); Brañas et al. (1988) sostienen que hay que huir de las jornadas de campo en las que el alumno no descubre nada por sí mismo; esa situación puede hacer que se desconecte de la actividad progresivamente y cada vez preste menos atención al profesor. Por otra parte, también puede ocurrir que, al no quedar bien integradas las actividades prácticas en toda la secuencia de enseñanza-aprendizaje, se esté colaborando a mantener una compartimentación de los contenidos de la enseñanza que ofrezca a los alumnos una visión desarticulada de la ciencia o que, al menos, los conduzca a una visión de ese tipo (Brusi, 1992).

Así pues, se observa que desde perspectivas distintas se acaba coincidiendo en la necesidad de estructurar adecuadamente el trabajo de campo; ello implicará concretar e incluir expresamente los diferentes objetivos perseguidos, utilizar una metodología lo más acorde posible con el método científico, especialmente por lo que se refiere a la formulación y contrastación de hipótesis (de acuerdo con el nivel madurativo), aprovechar la máxima diversidad de recursos, etc. De esta forma, y en consonancia con lo que se ha mantenido anteriormente al hablar de los problemas, el nuevo conocimiento se construye como respuesta a una cuestión planteada y ligada lo más directamente posible a la percepción inmediata; el alumno se ve obligado a comparar sus ideas previas con las nuevas hipótesis, obtenidas como consecuencia de su propia reflexión en un cuadro teórico modificado. De esta forma se busca cumplir un requisito fundamental del constructivismo, la confrontación entre la idea inicial y la nueva conjetura, pero garantizando que ésta le sea tan familiar, tan propia, como la primera (Wheatley, 1991).

Antes de terminar conviene decir que, en este caso concreto, «el campo» es también cualquier ambiente en el que se puedan ver materiales geológicos, aun cuando ya estén retocados, manipulados y manufacturados (aspectos que también pueden constituir motivo de análisis y reflexión). Para no alargar demasiado este epígrafe, remito a algunos trabajos muy ilustrativos de este enfoque, que abren perspectivas y ofrecen sugerencias concretas de aplicación (G<sup>a</sup>-Ruz, 1984; Díaz-Martínez y G<sup>a</sup>-Pardo, 1988; Gaona y Cumbreira, 1993; Carrillo y Gisbert, 1993).

### Los modelos

Cuando observamos funcionar un mecanismo intrigante, si somos pequeños, lo «destripamos» para ver qué tiene dentro que le permita moverse y actuar; si somos maduros, intentamos encontrar respuesta a las mismas cuestiones imaginándolas, ideando un sistema que pueda funcionar de manera similar. Este comportamiento viene a ser una necesidad de la mente humana, que se siente desafiada, de encontrar explicaciones a los fenómenos que se le manifiestan, no sólo acerca del cómo ocurren, sino incluso del por qué ocurren. Cuando se alcanza la capacidad de operar formalmente, elaborar una teoría explicativa no sólo es una cierta «economía de pensamiento», sino que es la mejor forma que hemos encontrada de recordar, resumir y organizar un gran número de datos y observaciones que, de otra forma, podrían resultar difíciles de conjuntar. Ésta es, en esencia, la razón de ser de los *modelos científicos*.

El término «modelo» puede tener muchas acepciones: ley, teoría, representación, algo a imitar... Por ejemplo, se habla de «modelos moleculares», «modelos cristalográficos», «modelo astronómico de Ptolomeo», «modelo de placas litosféricas», etc. Se puede entender por modelo

también una maqueta, un modelo que pasa vestidos, el modelo de un pintor...

El *Vocabulario científico y técnico* (1996), repitiendo literalmente su contenido de 1992, define el modelo como «esquema conceptual susceptible de un tratamiento matemático, que interpreta o predice el comportamiento de un sistema en el que se desarrolla un fenómeno determinado. Réplica, a pequeña escala, de un determinado sistema».

En una primera aproximación y en los niveles más bajos del sistema educativo, hay que centrarse exclusivamente en esta última acepción, entendiéndolo por réplica un dibujo, una descripción, unos «modelos moleculares» de los usados en las clases de Química, unas cartulinas para usar sobre franelógrafo, etc. Como los sistemas reales son generalmente complejos, se los reemplaza por modelos adecuados, sencillos de manejar, y cuyo comportamiento se tiene que asemejar a la realidad que se estudia. Debe ser fácilmente visualizable y susceptible de ser estudiado mediante un tratamiento cuantitativo y que, al menos, suponga una primera aproximación al comportamiento del sistema que representa. Hay que tener en cuenta que, como una representación de la realidad que es, el modelo resulta incompleto (sólo no lo sería la realidad misma).

En los niveles más altos de enseñanza, habrá que contemplar también la primera acepción de esa definición, porque los procesos geológicos y biológicos, a escala continental o global, sólo admiten tratamientos de ese tipo para conseguir aproximaciones suficientemente aceptables. Así pues, los modelos pueden ser *materiales* (como el modelo de los bloques fracturados que se desplazan gracias a la compresión ejercida por un tornillo), o *abstractos* (como el «Big Bang»).

La dificultad del uso de modelos en Ciencias radica en que todos los fenómenos los referimos a la experiencia cotidiana, que está basada en el conocimiento de

hechos del mundo mesoscópico; porque los objetos, a esta escala, están formados por infinidad de «partículas» (y al emplear este término ya estamos haciendo uso del modelo) a las que no vemos y cuyo comportamiento individual sólo se puede explicar con las leyes que rigen su mundo microscópico; pero, a su vez, aquellos objetos mesoscópicos sólo son partes menores de componentes de gran escala (megascópicos), cuyas dimensiones y comportamiento histórico nos resultan muy difícilmente perceptibles y comprensibles (como se verá después). Por tanto, puede parecer deseable que el modelo sea cada vez más abstracto, de modo que, sacrificando su poder representativo, se aumente su capacidad para interpretar los datos experimentales y para predecir nuevos hechos. El modelo tendería a transformarse en expresiones matemáticas o verbales. Pero aun así hay que ser consciente de sus limitaciones, pues, en último término, la dificultad se encuentra en el hecho (o condicionante humano básico) de que estamos obligados a utilizar las palabras del lenguaje común para describir un fenómeno, no por un análisis lógico o matemático, sino por una descripción que haga intervenir a la imaginación. El lenguaje común se ha desarrollado sobre la experiencia diaria y nunca puede sobrepasar estos límites.

En el campo de las Ciencias, la finalidad de usar modelos es:

- Ayudar a interpretar los fenómenos.
- Prever el comportamiento de un sistema (geológico, biológico, químico, etc.).
- Relacionar los datos experimentales con los cálculos teóricos.

Los alumnos son capaces de crear modelos, aunque sólo sean «esbozos». Debe guiárseles para que comprendan que la elaboración del modelo es una actividad del espíritu, pero que debe seguir ciertas reglas de coherencia interna y no contradirse con los fenómenos observados a

los que intentan dar explicación; porque el modelo debe cumplir una *función explicativa* y mostrar *capacidad predictiva*.

Entre los requisitos que deben exigirse a un modelo, Castro (1992) señala los siguientes: simplicidad, estabilidad, generalidad, utilidad y matematicidad. Además de los anteriores, y de acuerdo con todas las reflexiones acumuladas sobre la Ciencia y la Epistemología científica, debe aceptarse que una última característica de los modelos es su *caducidad* (como la muerte lo es de los seres vivos). Los modelos son útiles mientras sirven para explicar los hechos conocidos; pero dejan de serlo, o no lo son del todo, cuando nuevos métodos de medida e investigación aportan datos que no pueden ser explicados por el modelo. Un claro ejemplo físico-químico lo tenemos en el modelo de átomo; mientras no se pretendía explicar más que la naturaleza eléctrica de la materia, bastaba con el modelo de Thompson; pero éste no servía para explicar la alta energía de las partículas alfa, por ejemplo, ni el hecho de que la materia está prácticamente vacía; su intento de acomodación dio lugar al modelo de Rutherford que, a su vez, fue sustituido por el de Bohr, mejorado por Sommerfeld, hasta llegar a los intentos actuales con los «quarks» de la Cromodinámica cuántica. Algo similar ha ocurrido con las teorías sobre la herencia, desde la «mezcla de sangres» hasta las «leyes de Mendel» y la Genética no mendeliana (herencia multifactorial, cuantitativa o no, interacción genética, expresividad variable, etc.).

A veces los modelos parece que tienen ciclos alternantes: se adoptan, se rechazan, vuelven a resurgir...; esto ha sucedido con el modelo de la luz, que se ha estado considerando como un haz de partículas o como una onda alternativamente, quizá porque no se ha distinguido entre su naturaleza y su comportamiento; la solución podría ser dualista (suponer que la luz es un haz de fotones, que *se comporta* como una onda siempre que interactúa o se pro-

paga a través de un medio material). Igual ha ocurrido con el «ciclo geológico», que se ha desprestigiado cuando se ha insistido en la direccionalidad de la «flecha del tiempo»; podrían conjugarse muy bien las dos alternativas si queda claro que no se trata de círculos (cerrado, plano), sino de ciclos de situaciones similares desplazados en la coordenada tiempo (como la espiral de un tornillo).

Los objetivos educativos de los niveles no universitarios insisten en la necesidad de que los alumnos construyan modelos para la estructura de la materia que les permitan explicar los fenómenos. Mi experiencia con alumnos de 15 a 25 años confirma que realmente no entienden ningún tipo de proceso (químico, biológico, geológico) si no se ha elaborado un modelo explicativo satisfactorio, como Anderson (1990) ha puesto de manifiesto para la conservación de la materia-energía. Por esta razón, en las clases de Didáctica de la Geología (y también en otras materias del currículo universitario) pongo un énfasis especial en que los alumnos justifiquen los fenómenos utilizando un modelo coherente.

En cualquier caso, quedan planteadas algunas preguntas no fáciles de contestar, pero que pueden orientar la reflexión sobre el empleo de los modelos en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias, sus posibilidades y sus limitaciones. ¿Es conveniente el uso de modelos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Geología? (En el epígrafe siguiente se comentan algunas dificultades que inciden directamente en este aspecto). ¿Qué requisitos debe reunir un modelo, desde el punto de vista de la construcción de la ciencia y desde el punto de vista didáctico? Con fines didácticos, ¿deben usarse los mismos modelos que se han empleado, a lo largo de la historia, en el proceso de construcción de la ciencia? ¿Es conveniente el uso de modelos ya superados (por ejemplo el del fijismo de los continentes) si son asequibles a los alumnos, prescindiendo de otros modelos

más actuales, pero difíciles de asimilar? (Se supone que a lo largo de los distintos niveles de enseñanza se irán sustituyendo los modelos anticuados por los actuales).

### CONDICIONANTES IMPUESTOS POR LA PECULIARIDAD DEL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO

El conocimiento geológico presenta unas características propias que le hacen revestir una especial dificultad (si se quiere superar el nivel de las observaciones concretas, de muy poca extensión, a nivel de muestra) para alcanzar un determinado grado de comprensión más elevado, que incluya la génesis y la historia, tanto de los materiales como de los procesos geológicos. Esta exigencia de una capacidad de abstracción bastante elevada, condiciona seriamente los objetivos que se puede pretender que alcancen los alumnos de niveles curriculares bajos, así como los contenidos que se pueden proponer en esos mismos niveles.

Este tipo de dificultades a ese cierto nivel de profundidad provienen, fundamentalmente, de la gran magnitud del espacio que se ve involucrado en los procesos geológicos (lo que se puede llamar «la escala espacial», con la que va íntimamente unida «la visión espacial»), y de la enormidad de los periodos temporales que hay que manejar (que podemos llamar «la escala temporal»).

Secundariamente, también la naturaleza de la disciplina misma encierra ciertas peculiaridades; éstas obligan a descubrir y tener presente, no sólo la estructura lógica de la materia (retomaré ahora las ideas expuestas en Gallegos, 1990), sino las grandes ideas unificadoras («conceptos supraordenados» de Ausubel y otros, 1986) que proporcionen un marco referencial para ir integrando y relacionando todos los aspectos de estudio. Como este segundo aspecto está implícito en el desarrollo del criterio general siguiente («los contenidos vertebradores de secuencias»), analizo ahora solamente el primero.

### DIFICULTADES DE COMPRESIÓN

Efectivamente, la *escala espacial* constituye un serio obstáculo para la comprensión de la distribución de los materiales y de los procesos que los han generado o que los han afectado una vez individualizados. A título de ejemplo para ilustrar esta idea se pueden citar, en orden progresivo de magnitud, unos cuantos casos escogidos. Un filón de mineral puede tener sólo unos centímetros, decímetros o metros de grosor, pero puede alcanzar miles de metros de longitud y miles de metros de profundidad (lo cual supone un volumen del orden de  $1 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} \times 1.000 \text{ m} = 10^6 \text{ m}^3$ ); un batolito granítico (como exponente de parte de un magma que ha consolidado en el interior terrestre) puede presentar secciones de varios cientos de kilómetros cuadrados y hundirse hasta varios kilómetros de profundidad como mínimo (lo cual supone volúmenes del orden de  $5 \text{ km} \times 100 \text{ km} \times 100 \text{ km} = 5 \times 10^4 \text{ km}^3$ , cincuenta mil kilómetros cúbicos); una placa litosférica, como la africana, por ejemplo, no llega a tener un centenar de kilómetros de profundidad, pero se extiende desde el Atlántico central y el Mediterráneo, hasta los océanos Antártico e Índico, para cerrar su contorno por el Mar Rojo (lo cual supone un volumen del orden de  $100 \text{ km} \times 8.000 \text{ km} \times 10.000 \text{ km} = 8 \times 10^9 \text{ km}^3$ , ocho mil millones de kilómetros cúbicos).

Por su parte, algunas estructuras son de pequeñas dimensiones, perfectamente abarcables y observables de una sola ojeada (pliegues centimétricos, fracturas métricas); pero otras son de envergadura tal (pliegues de kilómetros de longitud, fracturas de cientos de kilómetros de longitud, mantos de corrimiento de varios kilómetros de potencia que se han desplazado más de un centenar de kilómetros desde su lugar de origen a lo largo de un frente de centenares de kilómetros) que resultan difícilmente imaginables, rozan nuestra capacidad de comprensión y tropiezan (de hecho han tropezado durante



bastantes años en algunos casos) con nuestra capacidad de aceptación.

Íntimamente unida con este problema de escalas se encuentra la capacidad de imaginar o de visualizar las formas, las geometrías, los volúmenes de esas masas y de esas estructuras en el espacio; especialmente, porque la mayoría de las veces sólo disponemos de una o pocas secciones para ello; es lo que se puede llamar la *visión espacial*. Justamente la percepción de los volúmenes y de las formas geométricas fue uno de los aspectos más tratados por Piaget y, después de él, por otros muchos autores; sus conclusiones deben tenerse muy presentes para no pretender que un alumno de 10 años, por ejemplo, imagine qué sección daría un elipsoide de revolución si se corta por un plano que forma 25° con el eje mayor; o para que uno de 14 años descubra cómo hay que cortar un cubo por un plano para obtener como sección un hexágono regular; o para que uno de 18 años reconstruya la estructura de una cordillera montañosa a partir de tres cortes geológicos paralelos obtenidos cortándola de 2 en 2 km perpendicularmente a sus estructuras principales.

Algo enteramente similar ocurre con los problemas derivados de la *escala temporal*. Medir duraciones de días, meses y años no parece resultar especialmente difícil a partir de los 10 años, aunque la apreciación psicológica de las décadas presente muchas diferencias individuales (es sobradamente conocido que un joven de 20 años es considerado «un viejo» por un niño de 8 años, y una persona de 40 por uno de 15 años). Una vez alcanzada la etapa de las operaciones formales tampoco parece que revista una dificultad especial imaginar periodos históricos de varios miles de años, como los que se manejan en la cronología histórica (el «Imperio Antiguo egipcio» o «los Sumerios»). Pero cuando empezamos a manejar periodos de decenas de milenios (para la última glaciación), de centenares de milenios (para los restos de *Homo* antiguos), de millones de años (para los prehomínidos), de

decenas de millones de años (para la extinción de los dinosaurios), o de miles de millones de años (para la edad del planeta), la imaginación se ve claramente desbordada y resulta totalmente incapaz de percibir otra cosa que una cifra con muchos ceros.

Como la capacidad para percibir (o, al menos, intuir) periodos progresivamente más grandes va creciendo con el individuo en su maduración, resulta también un condicionante de primera magnitud para plantear, con el grado de comprensión necesario, las cuestiones que incluyan aspectos temporales.

Todas estas reflexiones exigen, pues, si se tienen en cuenta los resultados de las investigaciones psicológicas sobre la maduración de la comprensión humana, una muy minuciosa selección de objetivos, actividades y contenidos; sólo los adecuados podrán ser asumidos por las mentes infantiles o adolescentes (o incluso por las universitarias si se sigue comprobando que no han alcanzado el estadio de las operaciones formales) sin demasiadas dificultades añadidas.

La aplicación de todas estas consideraciones conduce a las líneas maestras de la secuenciación que, junto con las secuencias concretas, se ofrecerán en una segunda entrega de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALIBERAS, J.: *Didàctica de les Ciències*. Vich, Eumo, 1989.
- ALMAGRO, M.: «Trabajar por rincones», en *Alambique*, 13 (1997), pp. 47-52.
- ÁLVAREZ, R. M.: «De los trabajos prácticos tradicionales a la actividad investigativa», en *Ens. Ciencias Tierra* 2, (2-3) (1994), pp. 361-372.
- ANDERSON, B.: «Pupil's conception of matter and its transformations (age 12-16)» en *Studies in Science Education*, 18 (1990), pp. 53-85.

- ANGUITA, F.; G<sup>a</sup> DE LA TORRE, E.: «Algunas consideraciones para optimizar la Geología de campo» en *III Congr. Geol. España. Salamanca, 1992*, 1, pp. 312-317.
- ARRANZ, J.: *Didáctica de la Física y Química*. Salamanca, Anaya, 1972.
- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H.: *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Méjico, Trillas, 1986.
- BARTOLOMÉ, A.R.: *Nuevas tecnologías y enseñanza*. Barcelona, ICE Univ. Barcelona, 1989.
- BENTLEY, D.; WATHS, M. (Eds.): *Learning and Teaching in School Science*. Open Univ. Press, 1989.
- BERNAL, J.: *Historia Social de la Ciencia. 1. La Ciencia en la Historia*. Barcelona, Península, 1979.
- BRANAS et Alii: «Experiencias didácticas sobre el trabajo de campo en Geología: una perspectiva interdisciplinar» en *Henares (Rev. Geol.)*, 2 (1988), pp. 395-405.
- BRONFENBRENNER, U.: *La ecología del desarrollo humano*. Barcelona, Paidós, 1987.
- BROUSSEAU, G.: *Fundamentos de Didáctica de la Matemática*. Zaragoza, Publ. Sem. Matem. G<sup>a</sup> de Galdeano. Univ. Zaragoza, 1989.
- BRUNER, J.S.; GOODNOW, J.J.; AUSTIN, G.A.: *El proceso mental en el aprendizaje*. Madrid, Narcea, 1978.
- BRUSÍ, D.: «Reflexiones en torno a la Didáctica de las salidas de campo en Geología» en *VII Simposio Ens. Geología*, ICE Santiago de Compostela, 1992, pp. 363-407.
- BUSQUETS, M.D. et alii: *Los Temas Transversales, claves de la formación integral*. Madrid, Santillana, 1993.
- CAAMAÑO, A.: «Lenguaje y comunicación en Ciencias» en *Alambique*, 12 (1997), pp. 5-7.
- CAAMAÑO, A.; CARRASCOSA, J.; OÑORBE, A.: «Los trabajos prácticos en Ciencias Experimentales» en *Alambique*, 2 (1994), pp. 4-5.
- CABALLER, M.J.: «Resolución de problemas y aprendizaje de la Geología» en *Ens. Ciencias Tierra* 2(2-3) (1994), pp. 393-397.
- CARIN, A.; SUND, R.B.: *La enseñanza de la Ciencia moderna*. Buenos Aires, Guadalupe, 1967.
- CARRILLO, L.; GISBERT, J.: *Pero... ¿hay rocas en la calle?* Zaragoza, Publ. Ayunt. Zaragoza, 1993.
- CASTRO, E.A.: «El empleo de modelos en la enseñanza de la Química» en *Ens. Ciencias*, 10(1) (1992), pp. 73-79.
- CATALÁ, M.; VILÁ, N.: «Las funciones lingüísticas en el proceso de adquisición de los conocimientos científicos» en *Aula Inv. Educativa*, 43 (1995), pp. 13-18.
- CERVERA, A.; PARDO, G.: «Las prácticas de campo en Geología de BUP» en *Aspectos didácticos de Ciencias Naturales (Geología)*, 3(1987), ICE Univ. Zaragoza, pp. 113-134.
- CHEVALLARD, Y.: *Transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage, 1992.
- CLAPARÈDE, E.: *La educación funcional*. Madrid, Espasa-Calpe, 1932.
- CLAXTON, G.: *Vivir y aprender*. Madrid, Alianza, 1984.
- COLL, C.; PALACIOS, J.; MARCHESI, A.: *Desarrollo psicológico y Educación*. Madrid, Alianza, 1990.
- COLL, C. et alii: *Los contenidos de la Reforma*. Madrid, Santillana, 1992.
- COLL, C. et alii: *El constructivismo en el aula*. Barcelona, Graó, 1997.
- CORRELL, W.: *El aprender*. Barcelona, Herder, 1969.
- CUBERO, R.: «Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales... ¿distinta terminología y un mismo significado?» en *Inv. Escuela*, 23 (1994), pp. 33-42.
- DEWEY, J.: *L'école et l'enfant*. París, Delachaux et Niestlé, 1947.

- DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; G<sup>a</sup>-PARDO, B.: «Aprovechamiento pedagógico de las rocas ornamentales de las estaciones del metro de Madrid» en *Henares (Rev. Geol.)*, 2 (1988), pp. 277-283.
- DRIVER, R.: «The name of the game» en *School Science Review*, 56 (1975), pp. 300-305.
- DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHEN, A.: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid, MEC-Morata, 1989.
- ENTWISTLE, N.: *La comprensión del aprendizaje en el aula*. Madrid, Paidós-MEC, 1988.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M.: *Enseñanza asistida por ordenador*. Madrid, Anaya, 1983.
- FERNÁNDEZ-URÍA, J.: *Estructura y Didáctica de las Ciencias*. Madrid, MEC, 1979.
- FRAZER, M.J.; SLEET, R.J.: «A study of students' attempts to solve chemical problems» en *Eur. J. Sc. Education*, 6(2) (1984), pp. 141-152.
- GALAGOVSKY, L.R.: «Redes conceptuales: base teórica e implicaciones para el proceso de enseñanza-aprendizaje» en *Ens. Ciencias*, 11(3) (1993), pp. 301-307.
- GALLEGOS, J.A.: «Itinerario geológico por Sierra de Gádor» en *Almotacín*, 5-6 (1985), pp. 62-85.
- GALLEGOS, J.A.: «Itinerario geológico Almería-Cabo de Gata-Monsul-S. José» en *Almotacín*, 7 (1986), pp. 49-72.
- GALLEGOS, J.A.: «La estructura lógica de la Geología» en *Seminario Ens. Geología Gran Canaria* (1990).
- GALLEGOS, J.A.: «Secuencia de enseñanza-aprendizaje de la clasificación de los materiales sedimentarios». *Ens. Ciencias Tierra*, 4(3) (1996), pp. 154-163.
- GALLEGOS, J.A.: «Identificación "de visu" de rocas y minerales» en *Ens. Ciencias Tierra*, 5(2) (1997), pp. 117-123.
- GALLEGOS, J.A.: «La secuenciación de los contenidos curriculares: Principios fundamentales y normas generales» en *Rev. Educación*, 315 (1998a) (en prensa).
- GALLEGOS, J.A.: «Reflexiones sobre la Ciencia y la Epistemología científica» en *Ens. Ciencias* (1998b) (en prensa).
- GALLEGOS, J.A.; ÁLVAREZ, P.: «La excursión geológica: sugerencias metodológicas y aplicación a un ejemplo concreto» en *Almotacín*, 1 (1983), pp. 5-29.
- GALLEGOS, J.A. et alii: *Ciencias de la Naturaleza, 4º ESO: Biología-Geología*. Sevilla, Algaida, 1993.
- GAONA, A.; CUMBRERA, F.: «Las rocas ornamentales. Aplicaciones didácticas» en *Ens. Ciencias Tierra*, 1(1) (1993), pp.19-24.
- GARCÍA DE LA TORRE, E.: «Recursos en la enseñanza de la Geología: La geología de campo» en *Inv. Escuela*, 3 (1991), pp. 85-93.
- GARCÍA DE LA TORRE, E.: «Metodología y secuenciación de las actividades didácticas de geología de campo» en *Ens. Ciencias Tierra*, 2(2-3) (1994), pp.340-353.
- GARCÍA DE LA TORRE, E.; SEQUEIROS, L.; PEDRICANI, E.: «Fundamentos para el aprendizaje de la Geología de campo en Educación Secundaria: Una propuesta para la formación del profesorado» en *Ens. Ciencias Tierra*, 1(1993), pp.11-18.
- GARCÍA-RUZ, J.L.: «La ciudad como recurso didáctico» en *I Congr. Geol. España*, t.4, pp. 505-525, Segovia, 1984.
- GARRET, R.M.: «Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de Ciencias» en *Ens. Ciencias*, 6(3) (1980), pp. 229-230.
- GAULD, C.F.; HUKINS, A.A.: «Scientific attitudes: a review» en *Studies in Science education*, 7 (1980), pp. 129-161.
- GEORGE et Alii.: *Las Ciencias Naturales en la Educación Básica*. Madrid, Santillana, 1977.
- GIL, D.: «Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje

- como investigación» en *Ens. Ciencias*, 11(2) (1993), pp. 197-212.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.: «Science learning as conceptual and methodological change» en *European Journal of Science Education*, 7(3) (1985), pp. 231-236.
- GIL, D. et Al.: «El fracaso en la resolución de problemas: una investigación orientada por nuevos supuestos» en *Ens. Ciencias*, 6(2) (1988), pp. 131-146.
- GIL, D. et Al.: *La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona, Horsori, 1991.
- GIORDAN, A.: *Didactique de les Ciences*. París, Le Centurion, 1978.
- GIORDAN, A. et Alii: *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berna, Peter Lang, 1983.
- GONZÁLEZ, E.: «Para qué sirve el laboratorio» en *La Escuela en Acción*, 10544 (1995), pp. 50-53.
- GOWIN, D.B.: *Educating*. Ithaca, New York, Cornell University Press, 1981. (En MOREIRA y NOVAK, 1988).
- HARLEM, W.: *Enseñanza y aprendizaje de las Ciencias*. Madrid, Morata, 1989.
- HATON, M<sup>a</sup> C.: «El ordenador pedagogo» en *Mundo Científico*, 129 (1992), pp. 928-937.
- HEIMLICH, J.; PITTELMAN, S.: *El mapa semántico*. Buenos Aires, Aique, 1991.
- HEWSON, P.: «A conceptual Change approach to learning Science» en *Eur. J. Science Education*, 12(1981), pp. 25-57.
- HODSON, D.: «Redefining and reorienting practical work in school science» en *Sch. Sc. Rev.*, 73(264) (1992), pp. 65-78.
- HODSON, D.: «Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio» en *Ens. Ciencias*, 12(3)(1994), pp. 299-313.
- HOLTON, G.: *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona, Reverté, 1979.
- JACOB, C.: «Del libro al ordenador» en *Mundo Científico*, 111(1991), pp. 304-305.
- JÁEN, M.; BERNAL, J.M.: «Una propuesta de intervención didáctica en el trabajo de campo» en *Ens. Ciencias Tierra*, extra(1989), pp. 89-90.
- JÁEN, M. et Alii.: «Análisis y reflexión sobre la planificación y desarrollo de unidades de enseñanza de la Geología» en *Act. VII Simp. Ens. Geología*, pp. 63-67. Santiago de Compostela, 1992.
- JÁEN, M.; BERNAL, J.M.: «Integración del trabajo de campo en el desarrollo de la enseñanza de la Geología mediante el planteamiento de situaciones problemáticas» en *Ens. Ciencias Tierra*, 1(3)(1993), pp. 153-158.
- JOHNSUA, S.; DUPIN, J.J.: *Introduction à la Didactique des Sciences et des Mathématiques*. París, Pres. Univ. France, 1993.
- KEMPA, R.: «Resolución de problemas de Química y estructura cognoscitiva» en *Ens. Ciencias*, 4(2)(1986), pp. 99-110.
- KERSCHENSTEINER, G.: *La enseñanza científico-natural*. Barcelona, Labor, 1930.
- KING, C.: «Field excursions to modern depositional environments» en *Geology Teaching*, 2(1984), pp. 79-88.
- KLUWE, R.H.; SPADA, H. (Eds.): *Developmental models of thinking*. New York, Academic Press, 1980.
- KNOLL, K.: *Didáctica de la enseñanza de la Física*. Buenos Aires, Kapelus, 1971.
- LAMA, M.D. et Alii: «La selección y secuenciación de contenidos en Ciencias de la Naturaleza» en *Alambique*, 5 (1995), pp. 83-99.
- LAWSON, A.: «Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico» en *Ens. Ciencias*, 12 (1994), pp. 165-187.
- LÁZARO, F.: *El dardo en la palabra*. Barcelona, Galaxia Gutemberg-Plaza, 1997.
- LEBOUTET, L.: *L'enseignement de la Physique*. París, PUF, 1973.

- LEGRAND, L.: *Pour une pédagogie de l'étonnement*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1969.
- LILLO, J.; REDONET, L.F.: *Didáctica de las Ciencias Naturales*. Valencia, Ecir, 1985.
- LILLO, J.: «Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa» en *Alambique*, 2(1994), pp. 47-56.
- LLORENS, J.A.: *Comenzando a aprender Química*. Madrid, Visor, 1991.
- LOCK, R.: «Open-ended, problem-solving, investigations: What do we mean and can we use them?» en *School Sc. Revue*, 71(256)(1990), pp. 63-72.
- LOCK, R.: «Open-ended, problem-solving, investigations: Getting started» en *School Sc. Revue*, 72(261)(1991), pp. 67-73.
- LOCKARD, J. et Alii: *Manual de la Unesco para profesores de Ciencias*. París, Unesco, 1981.
- LUCAS, A. M.: «Condiciones de curriculum y aportación de la investigación a la práctica educativa en Ciencias» en *Alambique*, 10 (1996), pp. 91-107.
- LYNCH, P.P.: «Laboratory work in schools an universities; structures and strategies still largely unexplored» en *Australian Science Teachers Journal*, 32(1987), pp. 31-39.
- MEC: *Temas transversales y desarrollo curricular*. Madrid, MEC, 1993.
- MARCELO, C.: «El video como recurso en el estudio de casos» en *Apuntes de Educación*, 41(1991), pp. 5-8.
- MÁRQUES, L. et Alii: «Trabajo experimental: contribuciones para la comprensión de la dinámica fluvial» en *Ens. Ciencias Tierra*, 3(3)(1996), pp. 176-183.
- MARTÍN, C.: *Didáctica de la Física y Química*. Madrid, Magisterio Español, 1969.
- MARTÍNEZ, S.: «Configuración de los vídeos didácticos» en *Apuntes de Educación*, 41(1991), pp. 13-15.
- MAS-PUJADAS, F. et Alii.: «Vídeos didácticos de Física y Química» en *Ens. Ciencias*, 9(2)(1991), pp. 181-185.
- MAYER, R.: *El futuro de la Psicología cognitiva*. Madrid, Alianza, 1985.
- MOREIRA, M.A.; NOVAK, J.D.: «Investigación en la enseñanza de las Ciencias en la Universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordajes metodológicos» en *Ens. Ciencias*, 6(1)(1988), pp. 3-18.
- MUSTAR, P.: «¿Pueden los científicos convertirse en empresarios?» en *Mundo Científico*, 84(1988), pp. 980-983.
- NIAZ, M.: «The information-processing of chemistry problems and its relation to Pascual-Leone's funcional M-capacity» en *Int. J. of Science Education*, 10(1988), pp. 231-238.
- NIAZ, M.: «The relation between M-Demand, Algorithms and Problem solving. A neo-Piagetian Analysis» en *J. Chem. Educ.*, 66(5)(1989), pp. 422-424.
- NOVAK, J.D.; GOWIN, D.B.: *Aprendiendo a aprender*. Barcelona, Martínez Roca, 1988.
- OSBORNE, R.; WITTRICK, M.C.: «Learning Science: a generative process» en *Science Education*, 67(4)(1983), pp. 489-508.
- OSBORNE, R.; FREIBERG, P.: *El aprendizaje de las Ciencias*. Madrid, Narcea, 1991.
- OTERO, J.: «Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos...» en *Ens. Ciencias*, 8(1)(1990), pp. 17-22.
- PASCUAL-LEONE, J.: «Constructive problems for constructive theories: The current relevance of Piaget's work and a critique of information-processing simulation psychology» en Kluewe y Spada (Eds.), 1980.
- PEDRINACI, E.; BERJILLOS, P.: «Datación radiométrica: un modelo sencillo» en *Alambique*, 13(1997), pp. 117-118.
- PENICK, J.E.; YAGER, R.E.: «Trends in science education: some observations of exemplary programs in the United States» en *Eur. J. of Science Education*, 8(1)(1986), pp. 1-9.

- PERALES, F.J.: «Análisis de contenidos en Óptica geométrica» en *Ens. Ciencias*, 5(3)(1987), pp. 211-219.
- PERALES, F.J.: «La resolución de problemas: Una revisión estructurada» en *Ens. Ciencias*, 11(2)(1993), pp. 170-178.
- PÉREZ-GLEZ., S.: «Las clases de campo como recurso para la contrastación de hipótesis» en *VII Simp. Ens. Geología*, pp. 567-570. Santiago de Compostela, 1992.
- PESTANA, M.E.: «Teachers and students' strategies in chemical problem solving» en *10ª ICCE (Extracts)*. Waterloo, Canadá, 1987.
- PIAGET, J.: *The construction of reality in the children*. New York, Basic Books, 1954.
- PIAGET, J.: «Piaget's theory» en Mussen (Ed.): *Carmichael's manual of child Psychology*. New York, Wiley, 1970.
- PIAGET, J.: *La representación del mundo en el niño*. Madrid, Morata, 1973.
- PIAGET, J.: *L'équilibration des structures cognitives. Problème central du développement*. Paris, PUF, 1975.
- POSNER, G. et Alii: «Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change» en *Science Education*, 66(2)(1982), pp. 211-217.
- PRO, A. DE: «Reflexiones sobre la selección de contenidos procedimentales en Ciencias». *Alambique*, 6(1995), pp. 77-87.
- RATHS, J.: «Teaching without specific objectives» en Magoon, R.A. (Ed.): *Education and Psychology*. Meurill, Ohio, 1973.
- RENNER, J.W. et Alii: «Understandings and misunderstandings of eighth graders of four physics concepts found in textbooks» en *J. of Res. in Science Teaching*, 27(1)(1990), pp. 35-54.
- RIOJA, E.: «Cómo se enseñan las Ciencias Naturales» en *Rev. Pedagogía*, 15(1923), pp. 102-110.
- ROSENTHAL, D.: «Two approaches to Science-Technology-Society (STS) education» en *Science Education*, 73(5)(1989), pp. 581-589.
- SÁNCHEZ, J.; VÁZQUEZ, F.; LLORENTE, G.: «Evaluación del rendimiento de un trabajo de campo» en *Ens. Ciencias Tierra*, 2(2-3)(1994), pp. 381.
- SALVAT, A.: «La ley de empuje en los libros de texto» en *Cuad. Física y Química*, IX(1987), pp. 126-131.
- SANMARTÍ, N.: «¿Se debe enseñar Lengua en la clase de Ciencias?» en *Aula Inv. Educativa*, 43(1995), pp. 5-12.
- SERRA, R.; CABALLER, Mª J.: «El profesor de Ciencias también es profesor de Lengua» en *Alambique*, 12(1997), pp. 43-49.
- SHAYER, M.; ADEY, P.: *La ciencia de enseñar ciencias (desarrollo cognitivo y exigencias del currículo)*. Madrid, Narcea, 1986.
- SOLBES, J.; VÍLCHEZ, A.: «Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas» en *Ens. Ciencias*, 9(1)(1991), pp. 53-58.
- SOLBES, J.; TRAVES, M.J.: «La utilización de la historia de las Ciencias en la enseñanza de la Física y la Química» en *Ens. Ciencias*, 14(1)(1996), pp. 103-112.
- SOLOMON, J.: *Science in a Social Context*. Oxford, Basil Blackwell, 1983.
- SOLOMON, J.: «Social influences on the construction of pupil's understanding of Science» en *Studies in Science Education*, 14(1987), pp. 63-82.
- SOLOMON, J.: *What is Science?; What is Technology?; How does Society decide?*. Hatfield, ASE, 1992.
- SOLOMON, J.: «El estudio de la Tecnología en la Educación» en *Alambique*, 3(1995), pp. 13-18.
- STRANG, J.; SHAYER, M.: «Enhancing high school students' achievement in chemistry through a thinking skills approach» en *Int. J. of Science Education*, 15(3)(1993), pp. 319-337.
- SUTTON, C.: «Ideas sobre la Ciencia e ideas sobre el Lenguaje» en *Alambique*, 12(1997), pp. 8-32.

- TAMIR, P.: «Practical work in school science: an analysis of current practice» en Woolnough, B. (Ed.): *Practical Science*. Open Univ. Press, 1991.
- UNESCO: *Nuevas tendencias en la enseñanza de la Química*. París, Unesco, 1967.
- UNESCO: *Nuevas tendencias en la enseñanza de la Física*. París, Unesco, 1968a.
- UNESCO: *Nuevas tendencias en la enseñanza de la Biología*. París, Unesco, 1968b.
- UNESCO: *Nuevas tendencias en la enseñanza integrada de las Ciencias*. París, Unesco, 1977.
- UNESCO: *Nuevo manual de la Unesco para la enseñanza de las Ciencias*. París, Unesco, 1978.
- VALLS Y ANGLÉS, V.: «La enseñanza de las Ciencias Experimentales en la Escuela Primaria» en *Libro-guía del maestro*. Madrid, Espasa-Calpe, 1932.
- VIDAL-BOX, C.: *Didáctica de las Ciencias Naturales*. Madrid, Publ. Min. Educación, 1960.
- VILASECA, A.; BACH, J.: «¿Podemos evaluar el trabajo de campo?» en *Ens. Ciencias Tierra*, 1(3)(1993), pp. 158-166.
- VÍLCHEZ, A.: «La introducción de las interacciones C-T-S» en *Aula Inv. Educativa*, 27(1994), pp. 32-36.
- VOCABULARIO...: *Vocabulario Científico y Técnico*. Real Ac. Ciencias Ex. Fís. y Naturales. Madrid, Espasa Calpe, 1996.
- VYGOTSKY, L.S.: *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona, La Pléyade, 1977.
- VYGOTSKY, L.S.: *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona, Crítica, 1979.
- WATSON, J.R.; PRIETO, T.: «Secondary Science in England and Spain» en *Educ. in Chem.*, 31(1994), pp. 40-41.
- WHEATLEY, G.H.: «Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning» en *Sc. Education*, 75(1)(1991), pp. 9-21.
- WEST, S.A.: «Problem-based learning: a viable addition for Sec. School Science» en *School Sc. Rev.*, 73(265)(1992), pp. 47-55.
- WILSON, J.D.: *Cómo valorar la calidad de la enseñanza*. Madrid, Paidós-MEC, 1992.
- YORK, P.G.: «Fieldwork in class» en *Teach. Earth Sciences*, 17(1992), pp. 143-144.
- YUS, R.: *Temas transversales: Hacia una nueva escuela*. Barcelona, Graó, 1996.