

Enseñanza de las Ciencias
y la Matemática
Tendencias e Innovaciones
Daniel Gil Pérez
Miguel de Guzmán Ozámiz



**Organización
de Estados
Iberoamericanos**

Para la Educación,
la Ciencia
y la Cultura

Ficha Bibliográfica

© Daniel Gil Pérez y Miguel Guzmán Ozámiz
© Organización de Estados Iberoamericanos
para la Educación, la Ciencia y la Cultura
© Editorial Popular

ISBN: 84-7884-092-3

Depósito Legal: M-9207-1993

Quedan rigurosamente prohibidas las
reproducciones de esta obra sin el permiso de
los titulares del «copyright».

Edición PDF: Joaquín Asenjo y Óscar Macías

Índice general

Presentación	3
Introducción General	4
Educación, Ciencia y Tecnología	4
El programa IBERCIMA	6
Estudio sobre Tendencias y Experiencias Innovadoras en la Enseñanza de las Ciencias y la Matemática	8
Enseñanza de las Ciencias	9
Parte I	
Algunas tendencias innovadoras espontaneas: Aportes y limitaciones	
	10
I.1. ¿El trabajo de laboratorio como eje central de la renovación de la enseñanza de las ciencias?	10
Resumen I.1	10
La enseñanza experimental: una «revolución pendiente»	10
Una imagen distorsionada de la ciencia	10
La enseñanza de «los procesos de la ciencia» en cuestión.	11
I.2. ¿La enseñanza por transmisión de conocimientos como garantía de un aprendizaje significativo?	13
Resumen I.2	13
Un esfuerzo de fundamentación teórica.	13
Las limitaciones del aprendizaje por recepción.	13
I.3. ¿La enseñanza integrada de las ciencias como superación de planteamientos alejados de la realidad y carentes de interés?	15
Resumen I.3	15
A favor de una enseñanza integrada de las ciencias.	15
Cuestionando las propuestas de «ciencia integrada»	15
Una globalización necesaria.	16
I.4. Las nuevas tecnologías como base de la renovación de la enseñanza?	18
Resumen I.4	18
La incorporación de las nuevas tecnologías a la enseñanza.	18
Unas expectativas simplistas.	18
Parte II	
El Modelo Constructivista de Enseñanza/Aprendizaje de las ciencias: Una Corriente Innovadora Fundamentada en la Investigación	
	20
II.1. Los errores conceptuales como síntoma	21
II.2. Propuestas alternativas para la introducción de los conceptos científicos: del aprendizaje como cambio conceptual al aprendizaje como investigación	27

II.3. La innovación en algunos aspectos esenciales -pero habitualmente olvidados- en el planteamiento de la enseñanza/ aprendizaje de las ciencias: las relaciones enseñanza-medio y el clima escolar	38
II.4. La necesidad de innovaciones en la evaluación	47
Conclusión	55
Referencias bibliográficas	56
Enseñanza de la Matemática	62
Tendencias Innovadoras en Educación Matemática	63
Introducción	63
1. ¿Por qué la enseñanza de la matemática es tarea difícil?	63
2. Situación actual de cambio en la didáctica de las matemáticas	64
3. Tendencias Generales Actuales	65
4. Cambios en los principios metodológicos aconsejables	69
4.1. Hacia la adquisición de los procesos típicos del pensamiento matemático. La inculturación a través del aprendizaje activo.	69
5. Algunas tendencias actuales en los contenidos	81
6. Desiderata	85
Bibliografía	87

Presentación

La Educación se ha convertido en los últimos años en uno de los ámbitos prioritarios de la Cooperación Iberoamericana. Ello ha sido debido tanto a la conciencia sobre el papel que desempeña la educación en el desarrollo de nuestros pueblos como a la percepción cada vez mayor de que en la vertebración y consolidación de una comunidad como la naciente Comunidad Iberoamericana de Naciones la educación ocupa un rol relevante.

Demostración de este interés creciente por la cooperación educativa iberoamericana han sido las Declaraciones de Guadalajara (1991) y Madrid (1992) de las Conferencias Iberoamericanas de Jefes de Estado y de Gobierno, que conceden una gran importancia a la dimensión educativa o la Declaración de Guadalupe elaborada por la Conferencia Iberoamericana de Ministros de Educación, que desarrolla y concreta los principales ejes de esta colaboración.

Buena muestra también de que esta cooperación entre los países iberoamericanos es ya un hecho y está dando sus frutos, han sido los numerosos proyectos iniciados durante estos años, aunando los esfuerzos de diversas instituciones. Así, el Ministerio de Educación y Ciencia de España (MEC) y la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI) han unido sus esfuerzos para desarrollar diversos programas de cooperación educativa de una forma coordinada que la haga más rentable y eficaz.

La OEI, como organismo de cooperación intergubernamental iberoamericana, realiza desde 1949 programas y proyectos en todos los países de lengua española y portuguesa de América Latina y Europa, abarcando distintas temáticas que van desde la democratización de la educación hasta la educación e integración.

El MEC, a través de la Secretaría de Estado de Educación, ha impulsado en estos años la cooperación educativa iberoamericana por medio de diversos programas de formación, intercambio de profesorado, edición de materiales didácticos, etc.

El programa IBERCIMA de Enseñanza de la Ciencia y la Matemática en el nivel medio, es un ejemplo de cómo instituciones que desarrollan sus propios programas pueden colaborar para el logro de un objetivo común: hacer posible la cooperación educativa y avanzar hacia la Comunidad Iberoamericana.

Introducción General

Educación, Ciencia y Tecnología

La gran mayoría de los países iberoamericanos ha vivido en las últimas décadas en una situación casi crónica de crisis. Desde diversas posiciones políticas y académicas se han explicado las causas, haciendo referencia al retraso en materia de modernización productiva, al desequilibrio social, al empobrecimiento rural, a los altos índices de desempleo, a la deuda externa, etc.; pero también se ha hecho un especial énfasis en el retraso científico-tecnológico.

Se afirma que, frente a la creciente proporción del componente científico-tecnológico en el intercambio comercial global, el área iberoamericana ve ensanchada la distancia entre su modo de inserción económica en el mundo y el modo con que se benefician los países de mayor progreso técnico.

Los nuevos contenidos científicos y tecnológicos en los que se basa la producción han desatado en el mundo una transformación que promueve y condiciona profundos cambios tanto en las dimensiones económicas, sociales, culturales y políticas de los países como en las relaciones entre ellos.

Así, se están produciendo modificaciones significativas en la forma de organización de los procesos de producción, en las condiciones de vida y de trabajo de la población, en los requerimientos de cualificación, en la naturaleza de la división internacional del trabajo y en las hegemonías por países y regiones.

De esta forma, el vínculo cada vez más estrecho entre conocimiento científico, desarrollo tecnológico, innovación en la producción e inserción selectiva en el comercio internacional, en el marco de economías interdependientes, está obligando a una asimilación rápida del proceso técnico.

Sin embargo, también se ha señalado claramente, desde diversas instancias, que esto no implica que los estados iberoamericanos deban recurrir a seguir de manera imitativa los procesos de reconversión productiva emprendidos por los países industrializados. Debido a la falta de recursos y a sus deficiencias estructurales, el tipo de asimilación del progreso técnico debe formularse en base a las necesidades y potencialidades de cada sociedad.

En ese sentido, la determinación de políticas que permitan la promoción de la base científica y tecnológica de un país es una tarea prioritaria para su desarrollo. La creación de una capacidad propia en este ámbito y la generación endógena de proyectos tecnológicos ha de constituir el desenlace de un esfuerzo educativo y cultural que haga converger los enfoques científicos y la recuperación y revalorización de las tradiciones técnicas.

En esta línea, es fundamental que en las actuales circunstancias, el sistema educativo establezca distintos puentes, tanto con el sistema científico-tecnológico como con el sistema productivo, privilegiando tres aspectos de modo interactivo: la retención de la población el tiempo suficiente para que complete el ciclo básico; la integración en el aprendizaje de elementos científicos-tecnológicos que permitan la comprensión y la incorporación de un mundo en permanente cambio y el afianzamiento de una cultura del trabajo productivo, vinculada con el entorno y sus poten-

cialidades, proclive al aprendizaje tecnológico, a la audacia en el diseño de estrategias y a la creatividad.

Esta vinculación con lo científico-tecnológico es particularmente importante en el nivel secundario o medio, el cual tiene la responsabilidad de ofrecer una educación que sirva al individuo, atendido a la heterogeneidad de situaciones y necesidades y facilitando el acceso de los jóvenes al empleo, autoempleo u otras formas de inserción en la actividad productiva.

Un análisis elemental de la situación general de la enseñanza de la matemática y las ciencias demuestra que ésta es muy deficiente en la mayoría de los países del área, ya que persiste la confusión sobre sus fines y orientaciones, lo que se suma a la incertidumbre, en el plano curricular, en relación a sus objetivos y programas, sus contenidos y sus métodos.

La reformulación de contenidos y métodos es prioritaria, ya que ellos definen el acto educativo en el plano del aprendizaje. Se trata de un proceso en el que inciden múltiples factores: las necesidades y los valores de las sociedades; el desarrollo de los medios de comunicación; la incorporación de los avances científicos y las nuevas tecnologías, etc., etc. Pero a pesar de esa complejidad, urge tomar iniciativas que permitan enfrentar los desafíos del desarrollo socio-económico.

El programa IBERCIMA

Contando con este contexto referencial, la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, organismo de cooperación intergubernamental entre los países de lengua española y portuguesa de América Latina y Europa, y el Ministerio de Educación y Ciencia de España, han definido y están llevando a cabo desde 1991 un programa que da atención preferente al desarrollo del currículum de la matemática y las ciencias experimentales, así como a la elaboración de materiales y a la formación de docentes especializados. Se trata, no sólo de favorecer la formación de los científicos y tecnólogos que el área iberoamericana necesita para su desarrollo, sino también de orientar a las nuevas generaciones hacia la adquisición de una conciencia científica que les permita estar mejor preparados para actuar en un mundo donde cada día adquieren mayor presencia la ciencia y la tecnología.

El objetivo general de este programa es, pues, revisar y actualizar los contenidos y metodología de la enseñanza de la matemática y las ciencias, desarrollando actividades de investigación, formación, elaboración de materiales didácticos y de apoyo docente y de movilización y participación de profesores y estudiantes, a fin de generar y difundir una cultura proclive al aprendizaje tecnológico, a la audacia en el diseño de estrategias económicas y a la creatividad para combinar factores productivos.

Las áreas de acción

Este Programa Iberoamericano de Enseñanza de la Ciencia y la Matemática en el nivel medio, denominado Programa IBERCIMA, se desarrolla en cinco áreas:

1. Planes y programas de estudio

- Analiza los planes y programas oficiales y vigentes de los Ministerios de Educación a fin de conocer la situación de la enseñanza de la matemática y las ciencias a través de la fundamentación, objetivos, contenidos y metodologías que en ellas se expresan.
- Elabora estudios sobre las tendencias y experiencias innovadoras que en el mundo se producen en la enseñanza de las ciencias y la matemática.
- A partir del análisis de situación de la enseñanza de las ciencias y la matemática en la región y teniendo en cuenta las nuevas tendencias que se producen en este campo, efectúa recomendaciones a los Ministerios de Educación que permitan avanzar en procesos de innovación y a la vez de armonización curricular.

2. Formación inicial y capacitación permanente de profesores de matemática y ciencias

- Analiza la formación inicial que se da a los profesores de educación media y, asimismo, los programas de capacitación o perfeccionamiento a los cuales pueden acceder dichos profesores, ya sean de instituciones formadoras o de los propios Ministerios de Educación.

-A partir de este análisis, elabora alternativas de innovación tanto en la formación inicial como en la capacitación permanente del profesorado.

3. Materiales e instrumentos de apoyo

-Realiza estudios sobre los libros de texto más utilizados en cada país que permitan detectar la adecuación de los mismos a los planes y programas vigentes, su nivel de actualización respecto a las nuevas tendencias existentes, así como la posibilidad de acceso a los mismos por parte de los profesores y los alumnos.

- Desarrolla guías y líneas de desarrollo para la elaboración de nuevos libros de texto y otros materiales de apoyo en el aula de matemática y ciencias en el nivel medio.

-Asesora y da apoyo técnico a la gestión de las operaciones de equipamiento de los Ministerios de Educación para la enseñanza de las ciencias.

4. Información, documentación y publicaciones

-Elabora un inventario de los recursos materiales y humanos con que se cuenta en cada país para la enseñanza de la matemática y las ciencias. Este inventario forma parte de una base de datos sobre la capacidad instalada en el área iberoamericana para la enseñanza, formación e investigación en ciencias y matemática.

5. Actividades extracurriculares

-Favorece la movilización y motivación de docentes y alumnos en relación a los objetivos de la programación, a través de la realización de las Olimpiadas Iberoamericanas de Matemática y de Física y de las Exposiciones Internacionales de Material Didáctico.

-Edita y difunde publicaciones y material audiovisual, dedicados a recuperar las experiencias más relevantes en Iberoamérica sobre proyectos de ciencia y tecnología orientados a los jóvenes.

Estudio sobre Tendencias y Experiencias Innovadoras en la Enseñanza de las Ciencias y la Matemática

Los trabajos que aquí se presentan cumplen con los objetivos propuestos del proyecto en el área de planes y programas de estudio.

Estos estudios se elaboraron para ser presentados en los talleres subregionales (Montevideo, 9 al 12 de julio de 1991; Bogotá, 17 al 20 de septiembre de 1991 y Santo Domingo, 22 al 25 de octubre de 1991) en los que participaron los responsables de currículum de las áreas de matemática y ciencias de los Ministerios de Educación iberoamericanos y que sirvieron para completar la información necesaria para elaborar los análisis comparados de los currículos de biología, física, química y matemática, en el nivel medio en Iberoamérica.

En las páginas que siguen se nos presentan cuáles son las actuales tendencias internacionales en la enseñanza de las ciencias y la matemática y los nuevos problemas, frente a los cuales la sociedad demanda respuestas de la ciencia y de la educación.

Enseñanza de las Ciencias

Daniel Gil Pérez
Universidad de Valencia

Parte I

Algunas tendencias innovadoras espontaneas: Aportes y limitaciones

I.1. ¿El trabajo de laboratorio como eje central de la renovación de la enseñanza de las ciencias?

Resumen I.1

Se presentan aquí las propuestas de aprendizaje «por descubrimiento» como, quizás, la tendencia innovadora más espontánea entre el profesorado de ciencias.

Dichas propuestas se centran en un trabajo experimental y autónomo de los alumnos, dando preeminencia a los «procesos de la ciencia» sobre los contenidos.

Se analiza brevemente el origen de esta orientación, las concepciones epistemológicas que subyacen y los resultados -en gran parte negativos- que su aplicación ha producido.

La enseñanza experimental: una «revolución pendiente».

Cuando se plantea a los profesores y a los estudiantes de materias científicas qué orientación habría que dar a dichos estudios, surge como idea central la conveniencia de realizar abundantes trabajos prácticos para romper con una enseñanza puramente libresco. Ello constituye, sin duda, una intuición básica de la generalidad de los profesores, que contemplan el paso a una enseñanza de las ciencias eminentemente experimental como una especie de «revolución pendiente», dificultada en nuestros países por la falta de instalaciones y material adecuado, un excesivo número de alumnos, el carácter enciclopédico de los currícula, etc, etc.

Una imagen distorsionada de la ciencia

Es preciso prestar atención a esta idea de buscar en la metodología científica -y, más concretamente, en la realización de abundantes trabajos prácticos- la solución a las dificultades en el aprendizaje de las ciencias y las actitudes negativas que dicho aprendizaje genera. Se trata, quizás, de la tendencia innovadora más espontánea, aquella a la que se refieren en primer lugar los profesores deseosos de mejorar la enseñanza. Hoy poseemos, sin embargo, abundantes resultados que cuestionan -al menos parcialmente- esta orientación innovadora, cuya influencia ha sido particularmente notable en el mundo anglosajón durante las décadas 60 y 70, concretándose en propuestas de «aprendizaje por descubrimiento». Dichas propuestas se basan a menudo, como señala Ausubel (1978) «en la ingenua premisa de que la solución autónoma de problemas ocurre necesariamente con fundamento en el razonamiento inductivo a partir de datos empíricos». Se incurre así en visiones simplistas, muy alejadas de la forma en que realmente se elaboran los conocimientos científicos (Gil 1983), evidenciando la persistencia entre los profesores de concepciones epistemológicamente ingenuas (Giordan 1978) que olvidan el papel central que las hipótesis y todo el pensamiento divergente desempeñan en el traba-

jo científico, así como el carácter social y dirigido de dicha actividad. Se transmite, pues, una visión incorrecta de un «Método Científico» caracterizado exclusivamente por el rigor y la objetividad, que «se limita a los hechos y evita las suposiciones»; la imaginación, los riesgos, quedan excluidos. La creatividad corresponde, según esta visión, tan sólo al dominio de las actividades artísticas, y la ciencia es considerada como una búsqueda objetiva, metódica, desapasionada. De este modo se refuerzan concepciones espontáneas, plagadas de tópicos, acerca de la ciencia y los científicos (Schibecci 1986). Por otra parte, coherentemente con esta orientación inductivista, se produjo una falta de atención a los contenidos, en la creencia de que estos carecen de importancia frente al «Método» o de que la ejecución de los experimentos pueden proporcionar al alumno, incidentalmente, lo fundamental de la materia.

Los resultados de más de dos décadas de aplicación de esta orientación quedan reflejados en estas palabras de Ausubel (1978): «Como los términos laboratorio y método científico se volvieron sacrosantos en las preparatorias y universidades norteamericanas, los estudiantes fueron obligados a remedar los aspectos exteriormente conspicuos e inherentemente triviales del método científico (...). En realidad con este procedimiento aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico». Y no se trata, en modo alguno, de una exageración: si nos limitamos al objetivo fundamental de favorecer la adquisición de aptitudes científicas, una detenida evaluación de la enseñanza de las ciencias impartida en EEUU durante el periodo 1955-1980 llega a la conclusión de que «la mayoría de los cursos no incluyen un sólo experimento en que los estudiante puedan identificar y definir un problema, proponer procedimientos, recoger e interpretar resultados o tomar alguna decisión» (Yager y Penick 1983).

La situación es similar e incluso más grave en lo que se refiere a la resolución de problemas de lápiz y papel, el otro campo que, junto a los trabajos prácticos, es concebido como ocasión privilegiada para la adquisición y desarrollo de las aptitudes científicas. Como se ha mostrado repetidamente, los alumnos no aprenden a resolver problemas, sino que, a lo sumo, memorizan soluciones explicadas por el profesor como simples ejercicios de aplicación: los alumnos se limitan a «reconocer» problemas que ya han sido resueltos o a abandonar. La gravedad de la situación ha convertido desde hace años la investigación sobre problem-solving, junto a las prácticas de laboratorio, en una de las prioridades en el campo de la didáctica de las ciencias (Yager y Kahle 1982). Estas investigaciones muestran hasta que punto la propia didáctica de la resolución utilizada por el profesorado se aleja de las características del trabajo científico, convirtiendo los problemas -es decir, las situaciones para las que no existe de entrada una solución evidente- en ejercicios que el profesor resuelve de forma lineal, sin dudas ni ensayos sobre lo que se busca o el camino a seguir y, a menudo, sin siquiera contrastación e interpretación de resultados.

La enseñanza de «los procesos de la ciencia» en cuestión.

La corriente innovadora que pretende convertir el aprendizaje en situaciones de «aplicar los procesos científicos» ha incurrido, pues, en graves errores que es preciso conocer para evitar reincidir en los mismos. No es de extrañar que en los países donde efectivamente esta orientación estuvo vigente se generara un recha-

zo que condujo a reconsiderar la conveniencia de una enseñanza por transmisión de conocimientos, debidamente expurgada de algunos defectos. Abordaremos seguidamente esta corriente de renovación y terminaremos aquí resaltando que, pese a los errores cometidos, la enseñanza por descubrimiento supuso el inicio de un proceso de transformación de la enseñanza de las ciencias que llega hasta nuestros días. Por otra parte, la intuición de aproximar el aprendizaje de las ciencias a los procesos de construcción de conocimientos científicos resultó ser, como mostraremos más adelante, básicamente justa, aunque una visión incorrecta del trabajo científico frustrara inicialmente la fecundidad potencial de esta aproximación.

I.2. ¿La enseñanza por transmisión de conocimientos como garantía de un aprendizaje significativo?

Resumen I.2

Este apartado resume la reacción que generó el fracaso de la enseñanza orientada al «descubrimiento autónomo» de los alumnos. Dicha reacción se tradujo en un retorno a las propuestas de enseñanza por transmisión de conocimientos, debidamente revisados.

Se resaltan algunas aportaciones de esta orientación -muy particularmente el esfuerzo de fundamentación teórica- y se señalan igualmente sus limitaciones.

Un esfuerzo de fundamentación teórica.

La crítica, muy justificada, de la enseñanza por descubrimiento, se vio acompañada por una defensa renovada del «aprendizaje por recepción», es decir, de la enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados. Esta orientación -en la que destacan los nombres de Ausubel (1978) y Novak (1979)- resaltó adecuadamente aspectos como el papel de guía del profesor (para evitar las adquisiciones dispersas que proporciona el descubrimiento incidental) o la importancia de las estructuras conceptuales de los alumnos en la adquisición de nuevos conocimientos. La innovación en la enseñanza se orientó así al estudio de las jerarquías de los conceptos a introducir y a la elaboración de «mapas conceptuales» (Moreira y Novak 1988) para presentar ordenadamente los conocimientos, de forma que pudieran integrarse significativamente -es decir, de forma no arbitraria, sustancial e intencionada- en las estructuras conceptuales de los alumnos.

La principal aportación del trabajo de Ausubel fue, sin duda, el esfuerzo explícito de fundamentación teórica; ello permitió cuestionar las propuestas ingenuas del «aprendizaje por descubrimiento» y mostrar que, tras la idea vaga y peyorativa de «enseñanza tradicional» existía un modelo coherente de enseñanza/ aprendizaje por transmisión/ recepción. Por lo demás, algunas de las aportaciones de Ausubel -como, p.e., la distinción entre aprendizaje significativo y aprendizaje memorístico- forman parte hoy del bagaje común de todos los educadores.

Las limitaciones del aprendizaje por recepción.

La renovación de la enseñanza por transmisión de conocimientos, no resolvió los problemas de aprendizaje, ni siquiera en lo que se refiere a la adquisición de conceptos. Como veremos en el apartado II.1., el problema de los «errores conceptuales» cometidos por los alumnos de todos los niveles en dominios reiteradamente enseñados (Viennot 1979), vino a confirmar de forma contundente la ineficacia de las estrategias de transmisión de conocimientos, que siguen siendo las utilizadas mayoritariamente por el profesorado. Se podía así dudar de que la transmisión de conocimientos se traduzca en asimilación significativa para la mayoría de los alumnos. En efecto, como señala el mismo Ausubel, la verdadera asimilación de conocimientos exige un proceso activo de «relación, diferenciación y reconciliación integradora con los conceptos pertinentes que ya existían» (Ausubel 1978) y «cuanto más activo sea este proceso, tanto más significativos y útiles serán los conceptos asimilados». Pero ello exigiría, si más no, tener en cuenta las necesidades de *tiem-*

po propio para que los alumnos puedan *trabajar* los conceptos hasta ligarlos a su estructura conceptual. Y habría que plantear las actividades que favorezcan dicho trabajo de relación, diferenciación... e introducir los mecanismos de retroalimentación para constatar hasta qué punto los alumnos han asimilado y se puede seguir adelante, etc, etc. En definitiva, hacer activo el proceso de asimilación *en la clase* supondría romper el discurso profesoral con más trabajo de los alumnos y más tiempo propio para estos. Ello sin plantearnos hasta qué punto pueden resultar significativos unos conocimientos que no respondan a problemas que los alumnos hayan tenido ocasión, al menos, de plantearse previamente (Otero 1985 y 1989). Más grave parece, sin embargo, la defensa de la enseñanza por transmisión en base a criterios de falta de capacidad de la mayoría de los alumnos para «descubrir autónomamente» todo lo que deben saber (Ausubel 1978).

En definitiva, si bien la crítica de Ausubel al aprendizaje «por descubrimiento» parece justa y bien fundamentada, el simple retorno a la enseñanza por transmisión, liberada de algunos errores, tal como se propone desde el «Reception learning paradigm» (Novak 1979) plantea serias dudas. En cualquier caso, como el mismo Ausubel reconoce, la actividad de los alumnos durante la asimilación de conceptos es menos rica que durante la formación de conceptos. Y ello incluso en lo que se refiere a aspectos considerados como ocasión privilegiada para la iniciativa de los alumnos como son los trabajos prácticos o la resolución de problemas. En efecto, en una enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados, los trabajos prácticos juegan un papel de simple ilustración y se limitan a manipulaciones siguiendo recetas muy pormenorizadas en las que falta la mínima posibilidad de emitir hipótesis, diseñar experimentos o incluso analizar los resultados (Rachelson 1977; Tamir 1977). Los resultados no pueden ser más lógicos: los alumnos reconocen obtener poco beneficio de los experimentos realizados cuando los montajes están completamente dispuestos o las experiencias completamente preparadas (Leboutet 1973).

En lo que se refiere a la resolución de problemas de lápiz y papel, la situación es en todo comparable (Gilbert 1980; Larkin y Reif 1979). De hecho no se enseña a resolver problemas sino a comprender soluciones explicadas por el profesor como ejercicios de «aplicación de la teoría». Y es aquí, quizás, donde el fracaso de la enseñanza por transmisión resulta más evidente, puesto que el grado de transferencia es mínimo y los alumnos se limitan a reconocer problemas ya resueltos o a abandonar (Mettes et al 1980).

El modelo de enseñanza/aprendizaje por transmisión/recepción no parece, pues, resolver estos y otros graves problemas de la educación científica. Sin embargo ha supuesto, insistimos, un serio esfuerzo de fundamentación teórica y perfeccionamiento del modelo de enseñanza que sigue siendo hoy mayoritariamente utilizado. Ello resulta esencial si tenemos en cuenta que los esfuerzos de renovación de la enseñanza de las ciencias realizados hasta mediados de los 70 parten del rechazo simplista de una «enseñanza tradicional» caricaturizada y, aparentemente, de muy fácil sustitución. De hecho, durante bastante tiempo, los intentos de renovación no parecían tener en cuenta la necesidad de un marco teórico, como si la transformación de la enseñanza dependiera sólo de posturas ideológicas o pudiera abordarse con tratamientos puntuales. La fundamentación realizada por Ausubel, Novak, etc, del modelo de enseñanza/ aprendizaje por transmisión/ recepción de conocimientos, rompe con estas formas simplistas de aproximación.

I.3. ¿La enseñanza integrada de las ciencias como superación de planteamientos alejados de la realidad y carentes de interés?

Resumen I.3

Se exponen y analizan críticamente los argumentos en favor de una enseñanza integrada de las ciencias.

Se fundamenta la necesidad de una enseñanza disciplinar, dirigida a la construcción de concepciones unitarias, integradas.

A favor de una enseñanza integrada de las ciencias.

Una de las formas con que se ha intentado innovar en la enseñanza de las ciencias y romper con el creciente rechazo de los alumnos, ha sido la introducción de currícula de ciencia integrada (Haggis y Adey 1979), con una orientación menos parcializada, más global, de los conocimientos científicos. Se trata de propuestas que parten de la crítica a los currícula actuales de ciencia por su carácter operativista, centrados en situaciones artificiales, sin apenas conexión con la realidad, carentes de significado para los alumnos, etc (Báez 1977). Una crítica sin duda fundamentada, apoyada en una abundante investigación sobre los contenidos de los textos y sobre lo que se hace (y no se hace) en la clase de ciencias (Yager y Penick 1983). Pero, como intentaremos mostrar, dichas críticas no siempre apuntan a los auténticos obstáculos. Las razones aducidas en favor de una ciencia integrada son bien conocidas y parecen convincentes:

Existe una única realidad -se dice- y las diferentes disciplinas rompen artificialmente dicha unidad, proporcionando visiones parcializadas, desconexas. Se señala además que, si se pretende conectar con los intereses de los niños y niñas y partir de problemas de su entorno, hay que tener en cuenta que su percepción de dichos problemas es, sin duda, globalizadora y no entiende de divisiones en asignaturas. Por último, otra de las razones generalmente apuntadas en favor de la orientación de ciencia integrada se refiere a la existencia de una metodología común, independiente del contenido y la aceptación de que la familiarización con dicha metodología general -transferible de un dominio a otro- es un objetivo fundamental. ¿En qué medida este tipo de consideraciones resulta aceptable?, o, dicho de otro modo, ¿hasta qué punto la substitución de las asignaturas clásicas (Biología, Física, etc) por unas Ciencias Integradas puede contribuir a una mejor preparación de los alumnos y a generar una actitud más positiva hacia las ciencias? Sintetizaremos brevemente nuestros argumentos (Gil et al 1991):

Cuestionando las propuestas de «ciencia integrada».

En primer lugar, la idea de unidad de la materia como apoyo de una visión global, no parcializada, debe ser cuidadosamente matizada: el establecimiento de dicha unidad es, sin duda, una de las conquistas mayores del desarrollo científico, pero se trata de una conquista muy reciente y nada fácil. Pensemos, por ejemplo, que los principios de conservación y transformación de la materia y de la energía, fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX; o que la fusión de la Óptica, la Electricidad y el Magnetismo en la Teoría Electromagnética, se produce también en el siglo XIX. Recordemos, por otra parte, la fuerte oposición a las concepciones unitarias en Astronomía (Heliocentrismo), en Biología (Evolucionismo) o

en Química (Síntesis orgánica), que sigue presente en las preconcepciones de muchos alumnos.

La unidad de la materia aparece así como un resultado y no como un punto de partida. Además, dicha unidad no debe ser interpretada de manera reduccionista: es cierto que, por ejemplo, todas las sustancias están constituidas por átomos y que las leyes físicas son omnipresentes; pero no basta con ellas para comprender el mundo de los seres vivos, que es un nivel de organización de la materia más complejo, con leyes propias. Esconder la existencia de niveles distintos de organización dotados de leyes propias, y colocar al mismo nivel un abordaje físico, biológico, ... de la realidad, mediante un tratamiento simultáneo de los diferentes aspectos, conduce a una visión confusa, empobrecida y equívoca de esa realidad.

Es preciso, por otra parte, tener presente que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de artificialidad indudables que no deben ser ignorados ni ocultados: los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les «aleja» de la realidad; y continúan «alejándose» mediante lo que sin duda hay que considerar como la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis, la construcción de modelos *imaginarios*. La esencia misma del trabajo científico exige tratamientos analíticos, simplificadorios, artificiales. Pero la historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que ésta es la forma correcta de hacer ciencia, de profundizar en el conocimiento de la realidad en campos definidos, limitados, y de llegar posteriormente a establecer lazos entre campos aparentemente desligados. La metodología científica no resulta así un apoyo de tratamientos inicialmente globales integrados, sino que, muy al contrario, exige comenzar estudiando en profundidad dominios acotados, tendiendo a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos.

Argumentos similares pueden encontrarse en una reciente y muy interesante revisión de lo que han aportado 20 años de enseñanza integrada de la ciencia, realizada con un talante claramente autocrítico por Frey (1989), uno de los pioneros de dicha orientación.

Una globalización necesaria.

Este rechazo de las «Ciencias integradas» no puede suponer, sin embargo, la aceptación de las orientaciones de la actual enseñanza disciplinar de las ciencias: los problemas del fracaso escolar y de la actitud negativa de los alumnos siguen vigentes; y conviene no olvidar que las propuestas de ciencia integrada constituían un intento de respuesta a dicha situación y, por tanto, un índice de la necesidad de cambios. No queremos por ello terminar sin manifestar nuestro convencimiento de que en este debate entre disciplinariedad y ciencia integrada se hace necesario un esfuerzo por comprender las razones recíprocas y superar las lecturas simplistas que sólo prestan atención -magnificándolos- a los defectos *posibles* de la propuesta contraria.

Por nuestra parte reconocemos que los defensores de una orientación integrada han sabido detectar y criticar las visiones parcializadas, desconexas, que la

enseñanza disciplinar habitual proporciona, sin ni siquiera contribuir a mostrar el carácter de cuerpos coherentes de conocimientos de las disciplinas clásicas. Es preciso, además, si se quiere dar una imagen real de lo que constituye la ciencia, romper con los habituales tratamientos puramente operativos que hacen total abstracción del contexto en el que una ciencia se desarrolla. Las complejas relaciones ciencia/sociedad *deben* ser incluidas (Solbes y Vilches 1989; Jiménez y Otero 1990) para transmitir el carácter de aventura colectiva que la construcción de la ciencia posee, en la que los conflictos de intereses y la lucha por la libertad de pensamiento han jugado un papel esencial y en la que no han faltado ni las persecuciones ni las condenas. Toda una amplia corriente de la investigación en la didáctica de las ciencias se esfuerza hoy en devolver a su aprendizaje la vitalidad que el propio desarrollo científico tiene, resaltando el papel de la toma de decisiones (Aikenhead 1985) o el carácter dramático de dicho desarrollo.

Es en estos aspectos en los que la globalización resulta absolutamente necesaria, tanto para favorecer una actitud más positiva -críticamente positiva- hacia el aprendizaje de las ciencias, como para proporcionar una visión correcta del trabajo científico. Si al hablar de integración se está haciendo referencia a la necesidad de *construir* una visión unitaria de la realidad (esa gran conquista de la ciencia contra tantas barreras), a la necesidad de estudiar la ciencia en su contexto, atendiendo a las relaciones Ciencia/ Técnica/ Sociedad, a la necesidad de estudios interdisciplinares de los problemas frontera, ..., en ese caso nos manifestamos fervorosos «integracionistas». Pero si por enseñanza integrada de las ciencias se entiende tomar la unidad de la materia como punto de partida, escondiendo además la existencia de distintos niveles de organización y rechazando los tratamientos simplificados, acotados, esenciales en los orígenes de una ciencia, ..., en ese caso rechazamos con igual contundencia la integración. En definitiva, nuestra postura es defender una enseñanza disciplinar que no conduzca a visiones parcializadas, sino que dé igual importancia a los análisis simplificadorios que a las síntesis unificadoras, a los problemas precisos, acotados, iniciales, que a los tratamientos interdisciplinares de los problemas frontera.

I.4. Las nuevas tecnologías como base de la renovación de la enseñanza?

Resumen I.4

Se reconoce el interés de la incorporación de las nuevas tecnologías como contenido curricular y como medio didáctico.

Se llama la atención, sin embargo, contra visiones simplistas que ven en el uso de las nuevas tecnologías el fundamento de innovaciones radicales de la enseñanza de las ciencias.

La incorporación de las nuevas tecnologías a la enseñanza.

La utilización de las nuevas tecnologías en la enseñanza está, sin duda, plenamente justificada si tenemos en cuenta que uno de los objetivos básicos de la educación ha de ser «la preparación de los adolescentes para ser ciudadanos de una sociedad plural, democrática y tecnológicamente avanzada» o, cabría matizar, que aspire a serlo (MEC 1989). Así, las nuevas orientaciones curriculares recién aprobadas en España, contemplan acertadamente la incorporación de «las Nuevas Tecnologías de la información como contenido curricular y también como medio didáctico» (MEC 1989).

Son bien conocidas las posibilidades que los ordenadores ofrecen para recabar informaciones y contrastarlas, para proporcionar rápida retroalimentación, para simular situaciones... y, muy particularmente, para conectar con el interés que los nuevos medios despiertan en los alumnos (Barberá y Sanjosé 1990). Nada, pues, que objetar -muy al contrario- a la utilización de los ordenadores como *medio didáctico*. por otra parte, la posibilidad de simular con ordenador conductas inteligentes, ha conducido a los modelos de «procesamiento de información», basados en la metáfora de la mente humana como ordenador. Esta orientación teórica ha hecho aportaciones de indudable interés, sobre todo en lo que se refiere a la comprensión de cómo se organizan los conocimientos adquiridos en la «memoria a largo plazo» y cómo se recuerdan dichos conocimientos para utilizarlos en un momento dado (concretamente en la resolución de problemas). Para algunos (Kempa 1991), los modelos de procesamiento de la información, junto a los modelos constructivistas, constituyen hoy las dos perspectivas fundamentales de la investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias. Y aunque, en nuestra opinión, la perspectiva constructivista -de la que nos ocuparemos extensamente en la segunda parte de este trabajo- ha resultado mucho más fructífera para la renovación de la enseñanza de las ciencias que la basada en el procesamiento de información, no pueden ignorarse, repetimos, los aportes teóricos y prácticos del uso de los ordenadores... y sus limitaciones.

Unas expectativas simplistas.

Creemos necesario llamar la atención contra visiones simplistas que ven en el uso de las nuevas tecnologías el fundamento de renovaciones radicales de la enseñanza/aprendizaje. Y no se trata únicamente de que la prensa se haga eco con frecuencia de la «revolución informática en la enseñanza» o de la «muerte del profesor» (a manos del ordenador): amplios sectores del profesorado e incluso autoridades académicas contemplan la introducción de la informática como una posible solución a los problemas de la enseñanza, como una auténtica tendencia innovadora. A ello contribuye -como ha denunciado McDermott (1990)- una publicidad agresiva cuya atractiva presentación dificulta, a menudo, una apreciación objetiva de las

ofertas. Es preciso, insistimos, llamar la atención contra estas expectativas, que terminan generando frustración. Cabe señalar, por otra parte, que la búsqueda de la solución en «nuevas tecnologías» ... es ya antigua y fue acertadamente criticada por Piaget (1969) en relación a los medios audiovisuales y a las «máquinas de enseñar» utilizadas por la «enseñanza programada». Vale la pena recordar la argumentación de Piaget que, pensamos, continua conservando su vigencia.

«La imagen, el film, los procedimientos audiovisuales con que toda pedagogía que quiere parecer moderna nos golpea hoy constantemente los oídos, son auxiliares preciosos (...) y es evidente que están en claro progreso en relación a una enseñanza puramente verbal. No obstante, existe un verbalismo de la imagen como hay un verbalismo de la palabra». En cuanto a las «máquinas de enseñar» - precedente en tantos aspectos del auge actual del uso del ordenador- afirma, con una buena dosis de ironía: «Los espíritus sentimentales o pesarosos se han entristecido de que se pueda sustituir a los maestros por máquinas; sin embargo, estas máquinas nos parece que prestan el gran servicio de demostrar sin posible réplica el carácter mecánico de la función del maestro tal como la concibe la enseñanza tradicional: si esta enseñanza no tiene más ideal que hacer repetir correctamente lo que ha sido correctamente expuesto, está claro que la máquina puede cumplir correctamente estas condiciones» (Piaget 1969). En definitiva, las nuevas tecnologías -cuyo valor instrumental nadie pone en duda- no pueden ser consideradas, como algunos siguen pretendiendo, el fundamento de una tendencia realmente transformadora. Tras esta pretensión se esconde, una vez más, la suposición ingenua de que una transformación efectiva de la enseñanza/ aprendizaje de las ciencias puede ser algo sencillo, cuestión de alguna receta adecuada como «informatización» (o «enseñanza integrada» o...). La realidad del fracaso escolar, de las actitudes negativas de los alumnos, de la frustración del profesorado, acaban imponiéndose sobre el espejismo de las fórmulas mágicas.

Parte II

El Modelo Constructivista de Enseñanza/ Aprendizaje de las ciencias: Una Corriente Innovadora Fundamentada en la Investigación

Queremos llamar la atención, en primer lugar, contra cualquier tentación de ver en los planteamientos constructivistas hoy en auge -a los que dedicamos básicamente esta segunda parte- «la solución» a los problemas de enseñanza/ aprendizaje de las ciencias. Se corre, efectivamente, el peligro de que se conviertan en un nuevo eslogan superficial e ineficaz, por tanto, para la mejora del aprendizaje. Si algo comienza a estar claro hoy, precisamente, es la necesidad de romper con la idea ingenua -pero extraordinariamente extendida- de que enseñar es fácil: cuestión de personalidad, de sentido común o... de encontrar la receta adecuada para acabar con la «enseñanza tradicional». Más aún, resulta necesario comprender -como ya hemos señalado en el capítulo I.2- que tras la idea vaga de enseñanza tradicional existe un modelo coherente de enseñanza/ aprendizaje por transmisión/ recepción de conocimientos ya elaborados (Gil 1983; Millar y Driver 1987) y que la renovación de la enseñanza no puede ser cuestión de simples retoques, sino que presenta las características y dificultades de un cambio de paradigma.

Si tras varias décadas de esfuerzos innovadores no se ha producido una renovación efectiva de la enseñanza, ello puede ser atribuido, precisamente, a la falta de comprensión de la coherencia global del modelo «tradicional» y a la ausencia de un nuevo paradigma capaz de dar respuesta a las dificultades encontradas por el primero. Intentaremos aquí evitar estos planteamientos ateóricos, mostrando que los avances en la transformación efectiva de la enseñanza de las ciencias son el fruto complejo -en ningún modo reducible a recetas- del desarrollo convergentes de diversas líneas de investigación.

El modelo constructivista está jugando hoy ese papel integrador, tanto de las investigaciones en los diferentes aspectos de la enseñanza/ aprendizaje de las ciencias, como de las aportaciones procedentes del campo de la epistemología, psicología del aprendizaje, etc. De este modo, las propuestas constructivistas se han convertido en el eje de una transformación fundamentada de la enseñanza de las ciencias.

II.1. Los errores conceptuales como síntoma

Resumen II.1

Se parte de la conmoción provocada por la constatación de que elevados porcentajes de alumnos -incluso universitarios- cometen graves errores en conceptos fundamentales y reiteradamente enseñados.

Se analizan detenidamente las causas de estos errores, relacionadas con la existencia de formas espontáneas de pensamiento y con planteamientos docentes incorrectos.

Un fracaso movilizador.

La asimilación por los alumnos de los contenidos conceptuales transmitidos por el profesorado o los manuales y su capacidad para reproducirlos, ha constituido el objetivo más básico de la enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados. Y todo parecía indicar que, frente a las dificultades encontradas en otros campos como el de la resolución de problemas o el de los trabajos prácticos, un porcentaje suficientemente elevado de estudiantes alcanzaba este objetivo. Bastantes alumnos contestan, efectivamente, con relativa corrección al tipo de cuestiones teóricas habitualmente empleadas en los exámenes. Puede comprenderse, pues, el aldabonazo que supuso -gracias a la introducción de otro tipo de cuestiones- la puesta en evidencia de una grave y general incomprensión de incluso los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados. Una sencilla pregunta cualitativa del tipo «una piedra cae desde cierta altura en un segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?» mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos al final de su educación secundaria (e incluso de estudiantes universitarios) consideraba que una masa doble se traducían en mitad de tiempo de caída. Y ello después de haber resuelto decenas de ejercicios numéricos sobre caída de graves e incluso después de haber hecho un estudio experimental. (La práctica sobre caída de graves es una de las pocas que suelen hacerse en el período de la educación secundaria).

La publicación de algunos estudios rigurosos como la tesis de Laurence Viennot (1976) atrajo la atención sobre este problema que cuestionaba la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos; los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas y sin una imagen correcta del trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender el significado de los conceptos científicos más básicos, a pesar de una enseñanza reiterada. Particularmente relevante era el hecho de que esos errores no constituían simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se expresaban como ideas muy seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles (incluyendo a un porcentaje significativo de profesores).

No es de extrañar, pues, que el estudio de los que se denominaron *errores conceptuales* se convirtiera rápidamente en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una particular atención, como si conectara con algo que en cierto modo se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

Desde mediados de los años 70 la detección de errores conceptuales relevantes ha dado lugar a una abundante literatura (ver amplias selecciones bibliográficas en Osborne y Wittrock 1983; Carrascosa 1985; Hierrezuelo 1989), Todos los campos de las ciencias han sido analizados: la Mecánica en primer lugar, en donde parece que se dan los errores más persistentes (McDermott 1984; Sebastiá 1984) pero también el Calor (Macedo y Soussan 1985) la Electricidad (Varela 1989), la Óptica (De la Rosa et al 1984; Viennot y Kaminsky 1989), la Biología (Jiménez 1987), la Geología (Granda 1988) o la Química (Furió 1986)

Una vez puesta en evidencia la extensión y gravedad de los errores conceptuales, la investigación se centró en la comprensión de sus causas y en el diseño de estrategias de enseñanza que permitieran salir al paso de unos resultados tan negativos.

Estos intentos de explicación de la abundancia y persistencia de errores conceptuales en numerosos dominios de las ciencias han apuntado básicamente a dos causas, relacionadas, además, entre sí:

Por una parte se ha barajado la hipótesis -con unos u otros matices- de que esos «errores» constituyen más bien ideas espontáneas o preconcepciones que los alumnos ya tenían previamente al aprendizaje escolar. En segundo lugar, la atención se ha dirigido hacia el tipo de enseñanza habitual, poniendo en duda que la transmisión de conocimientos elaborados haga posible una recepción significativa de los mismos, es decir, haga posible que los alumnos pasen a tener las ideas que les han transmitido. Nos referiremos con algún detalle a los estudios realizados en ambos campos.

II.1.1. De la idea de «errores conceptuales» a la de preconcepciones

Las investigaciones sobre errores conceptuales condujeron muy rápidamente a distintos autores a verificar la hipótesis más plausible de la existencia en los niños de ideas sobre temas científicos previas al aprendizaje escolar y que fueron designadas como *teorías ingenuas* (Caramazza et al 1981), *ciencia de los niños* (Gilbert et Al 1982; Osborne y Wittrock 1983), *esquemas conceptuales alternativos* (Driver y Easley 1978), *Representaciones* (Giordan 1985), etc, etc.

Conviene señalar que, aunque el interés por las preconcepciones es reciente, existen precedentes que, con notable antelación, llamaron la atención sobre la «prehistoria del aprendizaje» (Vigotsky 1973) o se refirieron al hecho de que, a menudo, «se conoce contra un conocimiento anterior» (Bachelard 1938). Y es necesario no olvidar tampoco los trabajos de Piaget (1971), que plantean el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios precientíficos, o de Ausubel (1978), quien llega hasta afirmar: «si yo tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría este: averigüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente».

La mayoría de los estudios, realizados en campos muy diversos, aunque muy particularmente en mecánica (McDermott 1984), coinciden básicamente en la caracterización de esos conocimientos previos:

-parecen dotados de cierta coherencia interna (de aquí que autores como Driver hablen de «esquemas conceptuales» y no de simples preconcepciones aisladas),

- son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades,
- presentan cierta semejanza con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento y
- son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, incluso reiterada.

También la mayoría de los autores coinciden en considerar esas preconcepciones como el fruto de las experiencias cotidianas de los niños, tanto de sus experiencias físicas (que están constantemente reforzando la idea de que los cuerpos más pesados caen más aprisa, o de que hace falta aplicar una fuerza para que un cuerpo se mueva, etc, etc), como de las sociales (a través, p.e., del lenguaje (Llorens et al 1989), que constituye la cristalización de un conocimiento precientífico en el que calor y frío aparecen como sustancias o la palabra animal constituye un insulto). El carácter reiterado de estas experiencias explicaría, en parte, la persistencia y demás propiedades de las preconcepciones (ser comunes a estudiantes de diferentes medios y edades, etc). Algunos autores, sin embargo, han defendido interpretaciones diferentes. Conviene detenerse en estudiar sus argumentos -compartidos intuitivamente por parte del profesorado- y profundizar así en el origen de esas preconcepciones para fundamentar un posible tratamiento de las mismas que facilite la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos, evitando los «errores conceptuales».

Nos referiremos en primer lugar a las tesis de McClelland (1984), quien expresa toda una serie de reservas acerca de la existencia misma de esquemas conceptuales alternativos:

- a) Suponer que los alumnos poseen esquemas conceptuales de una cierta coherencia significa atribuirles un comportamiento similar al de los científicos, ignorando la diferencia radical entre el pensamiento de los niños y el de los científicos.
- b) Los fenómenos físicos no son lo suficientemente relevantes para la inmensa mayoría de los seres humanos y, por tanto, no pueden ser objeto de la concentración y esfuerzo necesarios que precisa la construcción de esquemas teóricos.
- c) Las respuestas de los niños a las cuestiones que se les plantean sobre los fenómenos físicos que forman parte de su experiencia, no son indicativos de la existencia de preconcepciones, sino el resultado de un cierto imperativo social que les obliga a una «inatención estratégica», es decir, a dar una respuesta dedicándole el mínimo de atención necesaria para no chocar con el profesor.
- d) Al suponer que el desarrollo histórico de las ideas científicas se reproduce en cada individuo, se infravalora gravemente la potencia y cohesión de las ideas de los adultos en cualquier sociedad humana y se olvidan las diferencias de contexto y de propósito entre el pensamiento adulto y el infantil.

No es difícil mostrar algunas insuficiencias en los argumentos de McClelland. en primer lugar, al imputar los errores conceptuales a una «inatención estratégica» de los alumnos y no a la existencia de verdaderas preconcepciones, no tiene en

cuenta que algunos de esos errores -particularmente en el dominio de la mecánica- no son sólo cometidos por niños, sino también por estudiantes universitarios e incluso por profesores en activo (Carrascosa y Gil 1985).

Es cierto que, como McClelland señala, la diferencia entre el pensamiento de los niños y el de los científicos es categórica y no de grado; pero lo mismo puede decirse acerca de las concepciones elaboradas por los pensadores de la antigua Grecia: son esencialmente diferentes de las ideas científicas. De hecho, las claras semejanzas entre las concepciones infantiles sobre el movimiento y el paradigma aristotélico -mostradas por los estudios de Piaget (1970) sobre epistemología genética- no puede ser accidental, sino la consecuencia de una misma metodología, consistente en sacar conclusiones a partir de observaciones cualitativas no controladas, en extrapolar las «evidencias», aceptándolas acríticamente (Piaget 1969). Esta es la forma de pensamiento que llevaba a Aristóteles a escribir: «Un peso dado cubre una cierta distancia en un tiempo dado, un peso mayor cubre la misma distancia en un tiempo menor, siendo los tiempos inversamente proporcionales a los pesos. Así, si un peso es doble de otro, tardará la mitad de tiempo en realizar un movimiento dado» (De Caelo). Y esta es la metodología que lleva a los alumnos (e incluso a estudiantes universitarios y profesores en formación) a afirmar que «un cuerpo con doble masa que otro caerá en la mitad de tiempo que este». Podríamos así decir que la distinción entre el pensamiento infantil y el pensamiento pre-científico de los adultos es sólo de grado, no categórica: el paradigma aristotélico es, sin duda, más elaborado y coherente que los esquemas conceptuales de los alumnos, pero ambos se basan en «evidencias de sentido común» (Gil y Carrascosa 1985; Hashweh 1986).

Quisiéramos señalar por último que, si bien los fenómenos físicos no son suficientemente relevantes para llevar a los alumnos a teorizar sobre ellos, no debemos olvidar que a lo largo de muchos años las experiencias cotidianas han impuesto inconscientemente una cierta visión del comportamiento de la materia (tendencia de los objetos al reposo, etc) muy similar a las concepciones aristotélicas. No se trata, pues, de teorización, sino de aceptación acrítica de lo que parece evidente.

Una postura diametralmente opuesta es la que sostiene Preece (1984), quien para explicar la persistencia de las preconcepciones avanza la hipótesis de que no son fruto de la experiencia, sino ideas innatas (lo que explicaría también su semejanza con las concepciones históricas). Dicha hipótesis, sin embargo, no tiene en cuenta que las ideas intuitivas de nuestros alumnos no son fácilmente adquiridas; por el contrario, son el resultado de un largo proceso basado en experiencias cotidianas en un cierto medio cultural. Y lo mismo puede decirse del paradigma aristotélico. De hecho, los alumnos muy jóvenes o las culturas muy primitivas no tienen la relativa coherencia de los esquemas conceptuales alternativos de los adolescentes o de la física pre-clásica. Por otra parte, el punto de vista innatista no da ninguna explicación acerca de como el paradigma aristotélico fue históricamente substituido, ni de que puede hacerse para ayudar a los alumnos a adquirir conceptos científicos que se oponen a las ideas innatas.

Podemos afirmar, en conclusión, que la existencia de esquemas conceptuales espontáneos es difícilmente cuestionable. Dichos esquemas tendrían en cierto modo la categoría de conocimientos pre-científicos, fruto de una epistemología del

sentido común, próxima a la que explica la constitución de la física aristotélico-escolástica, vigente durante más de 20 siglos y cuyo desplazamiento por la física clásica no fue precisamente fácil. Tenemos aquí un primer elemento explicativo de la persistencia de las preconcepciones. El segundo, que abordaremos a continuación, se refiere al tipo de enseñanza de las ciencias habitualmente impartida.

II.1.2. Una enseñanza de las ciencias inadecuada como causa de la persistencia de las preconcepciones.

La existencia de preconcepciones no puede por sí sola justificar los resultados tan negativos logrados por la enseñanza habitual en la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos. Una mínima aproximación a la historia de las ciencias basta para darse cuenta de que los conocimientos científicos no fueron construcciones ex nihilo sino que partieron de -y, a menudo, se enfrentaron con- concepciones pre-científicas de una cierta coherencia. La existencia de preconcepciones -o, si se prefiere, de concepciones pre-científicas- fruto de experiencias reiteradas, era algo perfectamente esperable, con lo que había que contar. Algo que Bachelard (1938) había ya señalado con toda claridad 50 años atrás: «Me ha sorprendido siempre que los profesores de ciencias, en mayor medida, si cabe, que los otros, no comprendan que no se comprenda (...) No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega a la clase de física con conocimientos empíricos ya constituidos: se trata, pues, no de *adquirir* una cultura experimental, sino más bien de *cambiar* de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana».

No sería, según esto, la existencia de preconcepciones en sí lo que explicaría los mediocres resultados obtenidos en el aprendizaje de conceptos, sino esa «falta de comprensión» del profesorado que señala Bachelard, es decir, la propia enseñanza. Conviene detenerse, pues, en analizar la posible inadecuación de esa enseñanza para facilitar la adquisición de los conocimientos científicos.

Lo que hemos visto hasta aquí sobre las preconcepciones incluye ya una primera crítica a la enseñanza habitual: su ignorancia de aquello que los alumnos ya conocen, la creencia de que basta transmitir los conocimientos científicos de forma clara y ordenada para que los alumnos los comprendan. La sorpresa general con que fueron recibidos los primeros resultados sobre «errores conceptuales» es ya un claro índice de que las estrategias de enseñanza no tenían en cuenta las concepciones iniciales de los alumnos. Esa ausencia de atención a lo que el alumno o alumna pueda pensar, a los obstáculos que esas preconcepciones puedan representar, resulta muy evidente en los libros de texto, como han mostrado diversos análisis (Gené 1986; Carrascosa 1987). Puede decirse, en efecto, que en la gran mayoría de los textos:

- no se incluyen actividades que permitan poner de manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de los temas estudiados;
- no se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos implicados;

-no se incluyen observaciones que llamen la atención sobre las ideas que históricamente han supuesto una barrera a la construcción de los conocimientos (y que podrían constituir también una barrera para el aprendizaje de los alumnos) en el dominio considerado;

-no se incluyen actividades para ver en qué medida se ha conseguido la comprensión real de los conceptos introducidos, en qué medida las concepciones pre-científicas han sido superadas.

Se han hecho también análisis de los errores conceptuales contenidos en los mismos textos (Carrascosa 1987): las «perlas» son innumerables llegando hasta títulos de capítulos como «Las fuerzas como causa del movimiento». Pero más grave que esta transmisión directa de concepciones incorrectas -que tiene, sobre todo, un valor de síntoma- es la visión que se transmite del trabajo científico: los conceptos son introducidos de forma aproblemática, es decir, sin referencia a los problemas que condujeron a su construcción (Otero 1985) ni detenerse en los conflictos de ideas que el tratamiento de esos problemas generó. No sólo se ignora así que el alumno no es una tabula rasa, sino que se trivializa el cambio de ideas que la construcción de los conocimientos científicos supone, llegando incluso a presentarlos como expresión del sentido común, cuando constituyen precisamente la ruptura con las «evidencias» de ese sentido común. Se olvida, en definitiva, que «las ciencias físicas y químicas, en su desarrollo contemporáneo, pueden caracterizarse epistemológicamente como dominios del pensamiento que rompen netamente con los conocimientos vulgares» (Bachelard 1949).

Todo esto apunta, pues, a que una enseñanza que se limita a presentar los conocimientos elaborados, escondiendo todo el proceso que conduce a su elaboración, impide que los alumnos puedan hacer suyas las nuevas ideas, que sólo tienen sentido en la medida en que el tratamiento de determinados problemas exige su construcción (a menudo *contra* concepciones previas más o menos sólidas).

¿En qué medida estas críticas explican realmente las dificultades de los alumnos? Tan sólo si teniéndolas en cuenta se consiguen resultados netamente mejores podrán aceptarse como válidas. Constituyen tan sólo explicaciones «tentativas» que exigen, para ser contrastadas, la elaboración de estrategias de enseñanza basadas en las mismas y la constatación de que con ellas los resultados del aprendizaje son significativamente más positivos.

II.2. Propuestas alternativas para la introducción de los conceptos científicos: del aprendizaje como cambio conceptual al aprendizaje como investigación

El principal interés de las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos de los alumnos no reside, por supuesto, en el conocimiento detallado de cuáles son sus preconcepciones en cada campo, aun cuando dicho conocimiento aparezca hoy como imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones de aprendizaje. La fecundidad de esta línea de investigación está asociada, sobre todo, a la elaboración de un nuevo modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias.

II.2.1. El aprendizaje como cambio conceptual

Resumen II.2.1

El papel jugado por las preconcepciones de los alumnos en la adquisición de nuevos conocimientos ha conducido a propuestas de enseñanza que contemplan el aprendizaje como un cambio conceptual.

Se fundamentan brevemente dichas propuestas, indicándose las condiciones necesarias para que tenga lugar el cambio conceptual y las estrategias de enseñanza orientadas a hacerlo posible.

La necesidad de nuevas estrategias de aprendizaje que hicieran posible el desplazamiento de las concepciones espontáneas por los conocimientos científicos, ha dado lugar a propuestas que -al margen de algunas diferencias, particularmente terminológicas- coinciden básicamente en concebir el aprendizaje de las ciencias como una *construcción* de conocimientos, que parte necesariamente de un conocimiento previo. Se puede hablar así de la emergencia de un modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias (Novak 1988) que integra las investigaciones recientes sobre didáctica de las ciencias (Hewson 1981; Posner et al 1982; Gil 1983; Osborne y Wittrock 1983; Resnick 1983; Driver 1986 y 1988; Hodson 1988...) con muchas otras contribuciones precedentes (Bachelard, Kelly, Piaget, Vigotsky, ...). Driver (1986) resume así las principales características de la visión constructivista:

- Lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.
- Encontrar sentido supone establecer relaciones: los conocimientos que pueden conservarse permanentemente en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos muy estructurados y que se relacionan de múltiples formas.
- Quien aprende construye activamente significados.
- Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.

Particular influencia en el replanteamiento de la enseñanza de las ciencias ha ejercido la propuesta de considerar el aprendizaje como un *cambio conceptual* (Posner, Strike, Hewson y Gerzog 1982), fundamentada en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conoci-

mientos científicos. Según esto, el aprendizaje significativo de las ciencias constituye una actividad racional semejante a la investigación científica: y sus resultados - el cambio conceptual- pueden contemplarse como el equivalente -siguiendo la terminología de Kuhn (1971)- a un cambio de paradigma. A partir de las ideas de Toulmin (1977) sobre filosofía de la ciencia, Posner et al identifican cuatro condiciones para que tenga lugar el cambio conceptual:

1. Es preciso que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.
2. Ha de existir una concepción mínimamente inteligible que
3. Debe llegar a ser plausible, aunque inicialmente contradiga las ideas previas del alumno y
4. ha de ser potencialmente fructífera, dando explicación a las anomalías encontradas y abriendo nuevas áreas de investigación.

Por nuestra parte, una cuidadosa consideración de las características básicas del trabajo científico a la luz de las orientaciones epistemológicas actuales, nos ha permitido alcanzar conclusiones semejantes: «Se dibuja así con toda claridad el paralelismo entre los paradigmas teóricos y su desarrollo -incluidos los periodos de crisis o cambios de paradigmas- y los esquemas conceptuales de los alumnos y su desarrollo, incluidas las reestructuraciones profundas, los cambios conceptuales» (Gil 1983).

Estas concepciones sobre el aprendizaje de las ciencias han conducido en los últimos años a diversos modelos de enseñanza que -como señala Pozo (1989)- tienen como objetivo explícito provocar en los alumnos cambios conceptuales. Así, para Driver (1986), la secuencia de actividades incluiría:

- la identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos;
- la puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través del uso de contraejemplos;
- la introducción de nuevos conceptos, bien mediante «torbellino de ideas» de los alumnos, o por presentación explícita del profesor, o a través de los materiales de instrucción;
- proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas y hacer así que adquieran confianza en las mismas.

¿Hasta qué punto estas orientaciones son realmente efectivas? Algunos resultados experimentales (Hewson 1989) sugieren que las estrategias de enseñanza basadas en el modelo de cambio conceptual producen la adquisición de conocimientos científicos más eficazmente que la estrategia habitual de transmisión/ recepción. La atención a las ideas previas de los alumnos y la orientación de la enseñanza tendente a hacer posible el cambio conceptual aparecen hoy como adquisiciones relevantes de la didáctica de las ciencias, a la vez teóricamente fundamentadas y apoyadas por evidencia experimental. Pese a ello, algunos autores han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando ésta está orientada explícitamente a producir el cambio conceptual (Fredette y Lochhead 1981; Engel y Driver 1986; Shuell 1987; White y Gunstone 1989). Se ha señalado incluso que, en ocasiones, el cambio conceptual conseguido es más aparente que real, como lo muestra el hecho de que al poco

tiempo vuelvan a reaparecer las concepciones que se creían superadas (Hewson 1989). En nuestra opinión ello indica la necesidad de profundizar en el modelo de aprendizaje de las ciencias, teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de preconcepciones. Nos referiremos a ello en lo que sigue.

II.2.2. El aprendizaje como investigación (tratamiento de situaciones problemáticas)

Resumen II.2.2

Se llama aquí la atención sobre la imposibilidad de un cambio conceptual efectivo, si no va asociado a un cambio metodológico que permita a los alumnos superar las formas de pensamiento «de sentido común» y abordar los problemas con una orientación científica.

Se critican asimismo las estrategias de enseñanza que plantean el cambio conceptual mediante el uso de «contraejemplos» y se fundamenta una orientación basada en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas.

Como ya hemos mencionado, la importancia de las concepciones alternativas de los alumnos y la necesidad de orientar el aprendizaje como un cambio conceptual y no como una adquisición ex nihilo puede basarse en la existencia de un cierto isomorfismo entre el aprendizaje (es decir, la construcción de conocimientos por los alumnos a partir -y en ocasiones en contra- de sus preconcepciones) y la investigación (es decir, la construcción de conocimientos por la comunidad científica a partir -y en ocasiones en contra- del paradigma vigente). Pero este mismo isomorfismo sugiere que para producir el cambio conceptual no basta con tomar en consideración las preconcepciones de los alumnos. Efectivamente, la semejanza entre las ideas intuitivas de los alumnos y las concepciones pre-clásicas no puede ser accidental, sino el resultado de una misma forma de abordar los problemas. De forma resumida podemos decir que los esquemas conceptuales alternativos están asociados -al igual que lo estuvo la física pre-clásica- con una metodología caracterizada por la certidumbre, por la ausencia de dudas y la no consideración de soluciones alternativas, por respuestas muy rápidas y seguras basadas en las evidencias del sentido común y por tratamientos puntuales con falta de coherencia en el análisis de diferentes situaciones (Minestrell 1982; Whitaker 1983; Halloun y Hestenes 1985; Hewson 1985; Champagne, Gunstone y Klopfer 1985).

Según esto cabría pensar que un cambio conceptual no es posible sin un cambio metodológico. De hecho, el paradigma pre-clásico solo pudo ser desplazado gracias a la nueva metodología que combinaba la creatividad del pensamiento divergente con el rigor de la contrastación de las hipótesis mediante experimentos en condiciones controladas y la búsqueda de coherencia global. Históricamente, ese cambio conceptual no fue en absoluto fácil y es lógico pensar que lo mismo ocurrirá con los alumnos: solamente si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología (es decir, en situación de construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global, etc) será posible que superen su metodología del sentido común al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que

exige la construcción del conocimiento científico.

Las consideraciones anteriores implican una crítica de las estrategias de enseñanza basadas en el «cambio conceptual» en un doble aspecto: por una parte dichas estrategias parecen poner exclusivamente el acento en la modificación de las ideas. Y aunque es cierto, como señala Hewson y Torley (1989), que el cambio conceptual tiene sus exigencias epistemológicas y no debe considerarse como un simple cambio del contenido de las concepciones, en nuestra opinión es necesario una mayor insistencia en que el cambio conceptual comporta un cambio metodológico, por lo que las estrategias de enseñanza han de incluir explícitamente actividades que asocien el cambio conceptual con la práctica de aspectos clave de la metodología científica, tal como ocurrió históricamente. Pensemos, a este respecto, que uno de los defectos de la enseñanza de las ciencias repetidamente denunciados ha sido el de estar centrada casi exclusivamente en los conocimientos declarativos (en los «que») olvidando los procedimentales (los «como»). No puede así esperarse que baste hablar de cambio conceptual para que se tengan en cuenta las exigencias metodológicas y epistemológicas que ello comporta. Por el contrario, cabe temer que sin una insistencia muy explícita y fundamentada, las actividades creativas del trabajo científico -la invención de hipótesis, etc- continuarán prácticamente ausentes de las clases de ciencias (Yager y Penick 1983). sin embargo, las estrategias de enseñanza que hemos resumido más arriba no parecen incluir esta aproximación de la actividad de los alumnos a lo que constituye la investigación científica.

Aún es posible hacer otra crítica más fundamental si cabe, a esas estrategias de enseñanza: la secuencia que proponen consiste, como se recordará, en sacar a la luz las ideas de los alumnos, favoreciendo su formulación y consolidación, para después crear conflictos que las pongan en cuestión e introducir a continuación las concepciones científicas cuya mayor potencia explicativa va a hacer posible el cambio conceptual. Es cierto que dicha estrategia puede, puntualmente, dar resultados muy positivos al llamar la atención sobre el peso de ciertas ideas de sentido común, asumidas acríticamente como evidencias; pero también es cierto que se trata de una estrategia «perversa». En efecto ¿qué sentido tiene hacer que los alumnos expliciten y afiancen sus ideas para seguidamente cuestionarlas?, ¿cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos?. Esa construcción nunca se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas de interés; problemas que se abordan, como es lógico, a partir de los conocimientos que se poseen y de nuevas ideas que se construyen a título tentativo. En ese proceso, las concepciones iniciales podrán experimentar cambios e incluso, aunque más raramente, ser cuestionadas radicalmente, pero ese no será nunca el objetivo, sino, repetimos, la resolución de los problemas planteados. Por esta razón la estrategia de enseñanza que nos parece más coherente con la orientación constructivista es la que plantea el aprendizaje como *tratamiento de situaciones problemáticas* de interés. Ello nos remite, a su vez, a las investigaciones sobre resolución de problemas de lápiz y papel y sobre el trabajo de laboratorio: ¿Acaso las dificultades encontradas por los estudiantes en ambas actividades no procedían -como hemos visto en el apartado I.1- de no tener adecuadamente en cuenta su carácter de tratamiento de situaciones problemáti-

cas, de su transformación en simples algoritmos, en recetas?. Creemos conveniente detenernos aquí en la consideración de recientes investigaciones en torno a la resolución de problemas de lápiz y papel que se han mostrado totalmente convergentes con las propuestas constructivistas que acabamos de exponer a propósito de la introducción de conceptos.

II.2.3. De los ejercicios de aplicación al tratamiento de situaciones problemáticas

Resumen II.2.3

En este apartado se recogen los resultados de investigaciones e innovaciones sobre resolución de problemas de lápiz y papel, mostrándose la coherencia entre dichos resultados y los correspondientes a los trabajos prácticos y al aprendizaje de conceptos.

Se afianza así la idea de orientar el aprendizaje de las ciencias como una construcción de conocimientos a través del tratamiento de situaciones problemáticas, es decir, como un trabajo de investigación dirigida.

Se ha señalado con frecuencia (Krulik y Rudnik 1980: Prendergast 1986) que los investigadores en la resolución de problemas de lápiz y papel no suelen plantearse qué es un problema -lo que, a nuestro entender, constituye una de las limitaciones de sus investigaciones-, pero existe un acuerdo general, entre quienes sí han abordado la cuestión, en caracterizar como problemas aquellas situaciones que plantean dificultades para las que no se poseen soluciones hechas. La definición de Krulik y Rudnik (1980) resume bien este consenso: «Un problema es una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla».

Un mínimo análisis de la práctica docente habitual muestra, sin embargo, que los «problemas» son explicados como algo que se sabe hacer, como algo cuya solución se conoce y que no genera dudas ni exige tentativas: el profesor conoce la situación -para él no es un problema- y la explica linealmente, «con toda claridad»; consecuentemente, los alumnos pueden aprender dicha solución y repetirla ante situaciones idénticas, pero no aprenden a abordar un verdadero problema y cualquier pequeño cambio les supone dificultades insuperables provocando el abandono.

Ahora bien, si se acepta la idea de que todo problema es una situación ante la cual se está inicialmente perdido, una posible orientación consistiría en preguntarse ¿qué hacen los científicos en este caso?. Con ello planteamos muy concretamente que es lo que hacen los científicos delante de lo que para ellos constituye un verdadero problema y no ante un enunciado de lápiz y papel como los que se incluyen en los libros de texto. Se puede esperar, en efecto, que delante de problemas de lápiz y papel los científicos -que son a menudo profesores- adopten actitudes características de la enseñanza habitual y consideren los problemas como situaciones que se debe saber resolver y no como verdaderos problemas. En este sentido, los estudios hechos sobre la manera en que los «expertos» abordan los problemas de lápiz y papel estarían todavía muy lejos de lo que supone enfrentarse a un verdadero problema. Es pues más útil preguntarse qué es lo que los científicos hacen cuando tienen que habérselas con auténticos problemas para ellos. La respuesta

en este caso es «simplemente» que... se comportan como investigadores. Y si bien es verdad que expresiones como investigación, metodología científica o método científico (con o sin mayúsculas) no tienen una clara significación unívoca, traducible en etapas precisas, resulta indudable que el tratamiento científico de un problema posee unas características generales que habría que tener en cuenta también en los problemas de lápiz y papel; cabe pues preguntarse cual es la razón de que ello no ocurra.

El hilo conductor seguido hasta aquí permite concebir que la inclusión de los datos en el enunciado como punto de partida, respondiendo a concepciones inductivistas, orienta la resolución hacia el manejo de unas determinadas magnitudes sin que ello responda a una reflexión cualitativa ni a las subsiguientes hipótesis. De este modo, al resolver un problema, el alumno se ve abocado a buscar aquellas ecuaciones que pongan en relación los datos e incógnitas proporcionados en el enunciado, cayendo así en un puro operativismo. No basta, pues, denunciar dicho operativismo: se trata de hacerlo imposible atacando sus causas. La comprensión de que la presencia de los datos en el enunciado, así como la indicación de todas las condiciones existentes -todo ello como punto de partida- responde a concepciones inductivistas y orienta incorrectamente la resolución, constituye un paso esencial en el desbloqueo de la enseñanza habitual de problemas y sus limitaciones. Es cierto que ello genera un desconcierto inicial entre el profesorado, porque choca con la práctica reiterada, con lo que «siempre» se ha hecho. Un enunciado sin datos, se señala, ¿no será algo excesivamente ambiguo frente a lo cual los alumnos acaben extraviándose?. Ahora bien, la ambigüedad, o, dicho con otras palabras, las situaciones abiertas, ¿no son acaso una característica esencial de las situaciones genuinamente problemáticas?. ¿Y no es también una de las tareas fundamentales del trabajo científico acotar los problemas abiertos, imponer condiciones simplificatorias?

Subsiste, naturalmente, la cuestión de cómo orientar a los alumnos para abordar dichas situaciones, puesto que no basta, obviamente, con enfrentarles a enunciados sin datos para lograr una actividad exitosa. La cuestión de qué orientaciones proporcionar a los alumnos para abordar la resolución de problemas sin datos (en los que ya no es posible el simple juego de datos, fórmulas e incógnitas) conduce a propuestas básicamente coincidentes con las que se enuncian a continuación y que, en conjunto, suponen un modelo de resolución de problemas como investigación (Gil et al 1991):

1. Considerar cual puede ser el interés de la situación problemática abordada.

Si se desea romper con planteamientos excesivamente escolares, alejados de la orientación investigativa que aquí se propone, es absolutamente necesario evitar que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora.

Esta discusión previa del interés de la situación problemática, además de proporcionar una concepción preliminar y de favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, permite una aproximación funcional a las relaciones C/T/S, que continúan siendo, pese a reconocerse su importancia, uno de los aspectos generalmente olvidados.

II. Comenzar por un estudio cualitativo de la situación, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran reinantes, etc.

Cabe señalar que esto es lo que realizan habitualmente los expertos ante un verdadero problema y lo que en ocasiones se recomienda, sin demasiado éxito. Pero los alumnos, ahora, se ven obligados a realizar dicho análisis cualitativo: no pueden evitarlo lanzándose a operar con datos e incógnitas, porque no disponen de ellos. Han de imaginar necesariamente la situación física, tomar decisiones para acotar dicha situación, explicitar qué es lo que se trata de determinar, etc.

III. Emitir hipótesis fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límite de fácil interpretación física.

Ya hemos hecho referencia en el capítulo anterior al consenso general de los epistemólogos acerca del papel central de la hipótesis en el tratamiento de verdaderos problemas. En cierta medida, se puede decir que el sentido de la orientación científica -dejando de lado toda idea de «método»- se encuentra en el cambio de un razonamiento basado en «evidencias», en seguridades, a un razonamiento en términos de hipótesis, a la vez más creativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente e imaginar nuevas posibilidades) y más riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba cuidadosamente las hipótesis, dudar del resultado, buscar la coherencia global). Así, son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Y son las hipótesis -y la totalidad del corpus de conocimientos en que se basan- las que permitirán analizar los resultados y todo el proceso. En definitiva, sin hipótesis una investigación no puede ser sino ensayo y error, deja de ser una investigación científica.

Podría pensarse que es inútil insistir aquí en estas ideas tan conocidas. Desgraciadamente es preciso reconocer que el papel de las hipótesis apenas se toma en consideración en las prácticas de laboratorio y ni siquiera se plantea en lo que se refiere a los problemas de lápiz y papel. Sin embargo, los problemas sin datos en el enunciado como los que proponemos obligan a los alumnos a hipotetizar, a imaginar cuales deben ser los parámetros pertinentes y la forma en que intervienen.

Así, por ejemplo, en un problema como «Un automóvil comienza a frenar al ver la luz amarilla ¿con qué velocidad llegará al paso de peatones?», los alumnos pueden concebir la influencia de la fuerza de frenado, masa del automóvil, distancia a la que se encontraba inicialmente del paso de peatones y velocidad que llevaba, llegando a predecir la forma de estas relaciones y a considerar posibles casos límites (planteando, por ejemplo, que «si la fuerza de frenado fuese nula, la velocidad que llevaría seguiría siendo la inicial», etc, etc.)

Es cierto también que, en ocasiones, incluso muy a menudo, los alumnos introducen ideas «erróneas» cuando formulan hipótesis. Por ejemplo, cuando se pide cuál será la altura máxima a la que llegará una piedra lanzada hacia arriba, muchos alumnos piensan en la masa del objeto como una variable pertinente. Pero esto, lejos de ser negativo, constituye quizás la mejor manera de sacar a la luz y

tratar dichas ideas (que serán falseadas por los resultados obtenidos). Cada vez que los alumnos abordan una situación problemática en la que interviene una caída de graves, sus ideas acerca de la influencia de la masa pueden reaparecer como hipótesis y ser tratadas; por el contrario, la resolución de decenas de ejercicios habituales sobre este mismo tema no impide que un importante porcentaje de alumnos de Educación Secundaria e incluso de estudiantes universitarios continúe considerando como «evidente» que un cuerpo de masa doble que otro caerá en la mitad del tiempo empleado por el primero.

IV. Elaborar y explicitar posibles estrategias de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

Si el corpus de conocimientos de que dispone el alumno juega, como hemos visto, un papel esencial en los procesos de resolución, desde la representación inicial del problema y la manera de modelizar la situación, hasta en las hipótesis que se avanzan, es sin duda en la búsqueda de caminos de resolución donde su papel resulta más evidente. En efecto, los problemas de lápiz y papel son situaciones que se abordan disponiendo ya de un corpus de conocimientos suficientemente elaborado para permitir la resolución: su estatus en los libros de texto es el de problemas «de aplicación». Son, en efecto, situaciones que se pueden resolver con los conocimientos ya elaborados, sin que haya necesidad de nuevas verificaciones experimentales. Es por tanto lógico y correcto que en la literatura sobre resolución de problemas de lápiz y papel, se de mucha importancia a un buen conocimiento teórico. Ya no resulta tan correcto que se interprete el fracaso en la resolución como evidencia de la falta de esos conocimientos teóricos: se olvida así que las estrategias de resolución no derivan automáticamente de los principios teóricos sino que son también construcciones tentativas, que parten del planteamiento cualitativo realizado, de las hipótesis formuladas y de los conocimientos que se poseen en el dominio particular, pero que exigen imaginación y ensayos. Las estrategias de resolución son, en cierta medida, el equivalente a los diseños experimentales en las investigaciones que incluyen una contrastación experimental y hay que encararlas como una tarea abierta, tentativa. Es por ello que resulta conveniente buscar varios caminos de resolución, lo que además de facilitar la contrastación de los resultados puede contribuir a mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos.

V. Realizar la resolución verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más, operativismos carentes de significación física.

La petición de una planificación previa de las estrategias de resolución está dirigida a evitar una actividad próxima al simple «ensayo y error», pero no pretende imponer un proceso rígido: los alumnos (y los científicos) conciben en ocasiones las estrategias de resolución a medida que avanzan, no estando exentos de tener que volver atrás a buscar otro camino. En todo caso, es necesario que la resolución esté fundamentada y claramente explicada -previamente o a medida que se avanza- lo que exige verbalización y se aleja de los tratamientos puramente operativos, sin ninguna explicación, que se encuentran tan a menudo en los libros de texto. Ello exige también una resolución literal hasta el final, lo que permite que el tratamiento se mantenga próximo a los principios manejados y facilitará, además, el análisis de

los resultados. Como indican Jansweijer et Al (1987) «Cuando la tarea es un verdadero problema, las dificultades y las revisiones son inevitables» y ello se ve facilitado, sin duda, por una resolución literal en la que los factores considerados como pertinentes aparecen explícitamente y se pueden reconocer los principios aplicados, lo que no ocurre, obviamente, en el caso de una resolución numérica.

VI. Analizar cuidadosamente los resultados a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límite considerados.

El análisis de los resultados constituye un aspecto esencial en el abordaje de un verdadero problema y supone, sobre todo, su contrastación con relación a las hipótesis emitidas y al corpus de conocimientos. Desde este punto de vista adquieren pleno sentido propuestas como la que Reif (1983) denomina «verificación de la consistencia interna»:

- «¿Es razonable el valor de la respuesta?»
- «¿Depende la respuesta, de una forma cualitativa, de los parámetros del problema en el sentido que cabría esperar?»
- «¿Se ajusta la respuesta a lo que se podría esperar en situaciones sencillas y especiales (por ejemplo las correspondientes a valores extremos de las variables)?»
- «¿Se obtiene la misma respuesta por otro medio diferente de resolución?».

Es importante constatar hasta que punto el proceso de análisis de los resultados preconizado por Reif en el texto precedente se ajusta a una verificación de hipótesis avanzadas al principio de la resolución para orientarla y dirigir la búsqueda de los datos necesarios -las variables pertinentes- en lugar de pedir que «se reconozcan» en el enunciado como punto de partida. Cabe preguntarse, una vez más, por qué ese paso lógico y aparentemente tan sencillo no ha sido dado ni por Reif ni por otros autores. En nuestra opinión, la razón de ello estribaría en el hecho de aceptar, sin cuestionarlo, el tipo habitual de enunciado y la orientación didáctica asociada al mismo, consistente en «desproblematizar» los problemas.

Añadamos para terminar que, al igual que ocurre en una verdadera investigación, *los resultados pueden ser origen de nuevos problemas*. Sería conveniente que los alumnos (y los profesores) llegasen a considerar este aspecto como una de las derivaciones más interesantes de la resolución de problemas, poniendo en juego de nuevo su creatividad.

Es conveniente remarcar que *las orientaciones precedentes no constituyen un algoritmo* que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos. Muy al contrario, se trata de indicaciones genéricas destinadas a llamar la atención contra ciertos «vicios metodológicos» connaturales: la tendencia a caer en operativismos ciegos o a pensar en términos de certeza, lo que se traduce en no pensar en posibles caminos alternativos de resolución o en no poner en duda y analizar los resultados, etc.

El cuestionamiento sistemático de las ideas docentes de sentido común ha permitido así concebir la transformación de la resolución de problemas de lápiz y papel en una actividad abierta, creativa, capaz de generar el interés de los alumnos. Hemos reencontrado así propuestas que aparecen asociadas únicamente -

cuando aparecen- en relación con los trabajos prácticos y que ahora abarcan a todas las actividades de aprendizaje de las ciencias. Esta convergencia de estudios inicialmente desconexos, se convierte en un apoyo indudable a las propuestas elaboradas y contribuye al establecimiento de un modelo de enseñanza/ aprendizaje de las ciencias como investigación que abraza coherentemente sus aspectos fundamentales.

Estas propuestas de orientar el aprendizaje como una construcción de conocimientos a través del tratamiento de situaciones problemáticas suelen generar - pese a lo riguroso de su fundamentación- un cierto escepticismo entre el profesorado que conviene explicitar y discutir.

II.2.4. ¿Es posible que los alumnos construyan conocimientos científicos?. (A favor de un «constructivismo radical»)

Resumen II.2.4

Se precisa aquí el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación, utilizando una metáfora que ve en los alumnos a «investigadores noveles» y en el profesor a un «director de investigaciones» en campos en los que es experto

Muchos profesores e investigadores han criticado las propuestas constructivistas, señalando que «No tiene sentido suponer que los alumnos, *por sí solos* (?) puedan construir *todos* (?) los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron de los más relevantes científicos». Esta y parecidas críticas se repiten una y otra vez. Es difícil no estar de acuerdo, por supuesto, en que los alumnos por sí solos no pueden construir todos los conocimientos científicos. Sin embargo, de aquí no se sigue que se haya de recurrir necesariamente a la transmisión de dichos conocimientos ni que se hayan de poner en cuestión las orientaciones constructivistas. En efecto, es bien sabido que cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores, rápidamente puede alcanzar el nivel del resto del equipo. Y ello no mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/ formadores son expertos. La situación cambia, por supuesto, cuando se abordan problemas que son nuevos para todos. El avance -si lo hay- se hace entonces lento y sinuoso. La propuesta de organizar el aprendizaje de los alumnos como una construcción de conocimientos, responde a la primera de las situaciones, es decir, a la de una investigación dirigida, en dominios perfectamente conocidos por el «director de investigaciones» (profesor) y en la que los resultados parciales, embrionarios, obtenidos por los alumnos, pueden ser reforzados, matizados o puestos en cuestión, por los obtenidos por los científicos que les han precedido. No se trata, pues, de «engañar» a los alumnos, de hacerles creer que los conocimientos se construyen con la aparente facilidad con que ellos los adquieren, sino de colocarles en una situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación, y durante la que pueden familiarizarse mínimamente con lo que es el trabajo científico y sus resultados, replicando para ello investigaciones ya realizadas por otros, abordando problemas conocidos por quienes dirigen su trabajo.

Se trata, pues, de favorecer en el aula un trabajo colectivo de investigación dirigida, tan alejado del descubrimiento autónomo como de la transmisión de cono-

cimientos ya elaborados (Gil 1983; Millar y Driver 1987). Ello exige la elaboración de «programas de actividades» (programas de investigación) capaces de estimular y orientar adecuadamente la (re)construcción de conocimientos por los alumnos (Gil 1982). Como señalan Driver y Oldham (1986), quizás la más importante implicación del modelo constructivista en el diseño del currículum sea «concebir el currículum no como un conjunto de conocimientos y habilidades, sino como *el programa de actividades* a través de las cuales dichos conocimientos y habilidades pueden ser construidos y adquiridos». La elaboración de estos programas de actividades constituye hoy, sin duda, uno de los mayores retos de la innovación en la enseñanza de las ciencias.

Precisaremos, para terminar este apartado, la idea de trabajo colectivo, que constituye un aspecto esencial del modelo, de acuerdo con el propósito de aproximar la actividad de los alumnos a un trabajo de investigación científica. No creemos necesario recordar aquí los bien conocidos y documentados argumentos en favor del trabajo en pequeños grupos como forma de incrementar el nivel de participación y la creatividad necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas (Ausubel 1978; Solomon 1987; Linn 1987), como indudablemente son las concebidas para posibilitar la construcción de conocimientos. Sí queremos insistir, por el contrario, en la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos (Wheatley 1991), mediante la cual los alumnos pueden asomarse a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de cotejarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia convergente para que la comunidad científica los acepte. Nunca se insistirá bastante, en efecto, en que, por ejemplo, unos pocos resultados experimentales como los que se pueden obtener en un laboratorio escolar no permiten hablar de verificación de hipótesis (Hodson 1985); de ahí la importancia de los intercambios inter-grupos y la participación del profesor como «portavoz de otros muchos investigadores» (es decir, de lo que la comunidad científica ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso). Es necesario resaltar, por otra parte, que esta insistencia en el trabajo colectivo no va dirigida *contra* la actividad individual, sino que, por el contrario, persigue potenciarla y enriquecerla en un proceso de fecundación mutua.

El modelo constructivista emergente se concreta así en torno a tres elementos básicos: *los programas de actividades* (situaciones problemáticas susceptibles de implicar a los alumnos en una investigación dirigida), *el trabajo en pequeños grupos* y *los intercambios entre dichos grupos y la comunidad científica* (representada por el profesor, textos, etc). Se configura así lo que Wheatley (1991) denomina estrategias de enseñanza basadas en el «constructivismo radical», con propuestas y fundamentaciones en las que coincide básicamente con otros autores (Gil 1992; Driver y Oldham 1986). La correcta caracterización de esta nueva y pujante orientación precisa, sin embargo, que se tomen en cuenta otros aspectos, a los que nos referiremos en los siguientes apartados.

II.3. La innovación en algunos aspectos esenciales -pero habitualmente olvidados- en el planteamiento de la enseñanza/ aprendizaje de las ciencias: las relaciones enseñanza-medio y el clima escolar

Resumen II.3

Se fundamenta aquí la necesidad de incluir en el currículum el tratamiento de las relaciones ciencia/técnica/sociedad, con vistas a:

- la formación de los futuros ciudadanos en una sociedad cada vez más impregnada por la ciencia y la tecnología y*
- la profundización en el conocimiento científico, rompiendo con visiones deformadas de una ciencia «pura».*

Se proponen asimismo distintas formas de favorecer la integración entre la escuela y el medio.

Por último se aborda la influencia de los factores ambientales - particularmente, el clima del aula y del centro- en la construcción de los conocimientos científicos.

Hemos resumido a lo largo de esta segunda parte investigaciones e innovaciones de una cierta profundidad sobre los aspectos considerados clave en el aprendizaje de las ciencias -conocimientos teóricos, prácticas de laboratorio y problemas de lápiz y papel- cuyos resultados apoyan coherentemente una estrategia de enseñanza/ aprendizaje como investigación.

La actividad de los alumnos se convierte, en esa perspectiva, en un tratamiento de problemas con características semejantes a las de una investigación científica. Esta similitud entre aprendizaje de las ciencias e investigación dirige la atención hacia otros aspectos indisolublemente asociados al trabajo de los científicos, pero habitualmente ausentes en los currícula de educación científica (Solbes y Vilches 1989): nos referimos a cuestiones como las complejas interacciones ciencia/ técnica/ sociedad (C/T/S), marcadas a menudo por contradicciones y conflictos, o el «clima» en que se desarrolla el trabajo científico (grado de institucionalización, existencia de equipos capaces de integrar y formar a nuevas generaciones de investigadores, etc).

Trataremos aquí dichos aspectos, pero no sólo para dar una imagen más correcta de la ciencia, sino, sobre todo, porque -como ha mostrado la investigación- influyen de forma determinante en el aprendizaje, contribuyendo a dar sentido a los estudios realizados y favoreciendo, en particular, el interés de los alumnos. Abordaremos así:

- las relaciones entre aprendizaje de las ciencias y el medio externo (interacciones ciencia/técnica/sociedad, etc)
- las relaciones entre aprendizaje de las ciencias y el medio escolar (clima del aula y del centro)

Conviene señalar que estos estudios están considerados hoy entre los potencialmente más fructíferos de la investigación e innovación en la didáctica de las

ciencias (Welch 1985). Abordaremos en primer lugar la cuestión de las relaciones enseñanza de las ciencias/medio.

II.3.1. La contextualización del trabajo científico.

El trabajo de los hombre y mujeres de ciencia -como cualquier otra actividad humana- no tiene lugar al margen de la sociedad en que viven y se ve afectado, lógicamente, por los problemas y circunstancias del momento histórico, del mismo modo que su acción tiene una clara influencia sobre el medio físico y social en que se inserta. Señalar esto puede parecer superfluo; sin embargo, la idea de que hacer ciencia es poco menos que encerrarse en una torre de marfil -»en el mundo de los libros«, etc- desconectando de la realidad, constituye una imagen tópica muy extendida y a la que nuestra enseñanza lamentablemente contribuye con su reducción a la transmisión de contenidos conceptuales y, a lo sumo, entrenamiento en alguna destreza, pero dejando de lado los aspectos históricos, sociales,... que enmarcan el desarrollo científico (Bernal 1967).

Podría pensarse que priorizar la adquisición de conocimientos científicos constituye una opción razonable, en la preparación inicial de futuros científicos, pero dos tipos de razones cuestionan dicha opción:

Por una parte, es obvio que la educación científica en el nivel secundario no tiene como finalidad formar científicos, sino a los futuros ciudadanos de una sociedad, eso sí, cada vez más impregnada por la ciencia y la tecnología. Desde este punto de vista, la comprensión de las interacciones ciencia/ técnica/ sociedad se convierte en un aspecto esencial si se quiere que esos ciudadanos puedan adoptar una actitud responsable y fundamentada frente al desarrollo científico/ técnico y las consecuencias que se derivan.

El argumento anterior constituye, sin duda, una razón de peso para tener presente en el currículo las relaciones ciencia/ medio, aunque puede hacer pensar que se trata de una «desviación» de lo que constituye la educación científica sensu strictu: una desviación necesaria debido a que no se trata de formar científicos sino ciudadanos. Intentaremos mostrar, sin embargo, que contemplar las interacciones C/T/S es necesario *también* para la formación de futuros científicos y que -lejos de suponer una desviación- constituye una profundización en el conocimiento científico, saliendo al paso de visiones deformadas y muy extendidas acerca de una ciencia «pura», sin relación con las concepciones y problemática del mundo «exterior».

En primer lugar, ya nos hemos referido a las graves consecuencias que para el aprendizaje tiene el olvido de las concepciones formadas en la vida ordinaria: los conocimientos científicos se construyen a partir -y, en ocasiones, en contra de las ideas y formas de abordar los problemas en la vida cotidiana, y la enseñanza de las ciencias ha de tenerlos necesariamente en cuenta para que pueda tener lugar un aprendizaje efectivo de los conocimientos científicos.

En segundo lugar, la integración del aprendizaje de las ciencias con la problemática del medio en el que viven los alumnos está apareciendo como una de las estrategias más eficaces en la educación científica. En efecto, en un análisis de 104 cursos altamente valorados por alumnos norteamericanos - que se ha dado a conocer gracias a un programa de «búsqueda de excelencia» iniciado en 1982 por la National Science Teachers Association- Penick y Yager (1986) señalan cuatro ten-

dencias fundamentales en la enseñanza de las ciencias que cabe esperar ejerzan gran influencia en las orientaciones de la práctica docente y de la investigación didáctica. Dos de estas tendencias apuntan muy claramente a la integración escuela/ medio. Penick y Yager se refieren así a la implicación de las comunidades locales en el desarrollo de los programas y de su instrucción, ya que de esta forma se refuerza el conocimiento de las necesidades y recursos del medio ambiental próximo al estudiante, aumentando su actitud positiva hacia esos programas de estudios.

Como formas de favorecer esta integración entre escuela y medio, Penick y Yager citan, entre otras, las siguientes:

- el trabajo de estudiantes junto a investigadores, ingenieros, etc,
- seminarios impartidos por investigadores a los profesores y estudiantes sobre los problemas de todo tipo que genera el desarrollo científico,
- la participación de estudiantes en órganos ciudadanos de gobierno para la toma de decisiones.

Puede pensarse también en otras formas como, por ejemplo, la elaboración por los alumnos de «productos» de interés para el público general (exposiciones monográficas, ferias científicas, etc) a través de las cuales la escuela se abre a la sociedad y los alumnos se implican en tareas que van más allá del ejercicio escolar (Freinet 1976).

Por otra parte, Penick y Yager señalan que las relaciones C/T/S constituyen una parte central de los cursos altamente valorados. La idea de que la tecnología es algo «demasiado mundano» para la clase esta siendo hoy revisada (Martinand 1986) y los diseñadores de programas reconocen que la ciencia sin sus implicaciones sociales no significa mucho ni para los estudiantes ni para los ciudadanos. Esta orientación C/T/S presenta la estructura de la ciencia en relación con la sociedad, sin olvidar los aspectos más conflictivos. Los estudiantes trabajan así algunos problemas con los que tendrán que enfrentarse como adultos -futuros científicos o no- y comienzan a comprender el papel de la ciencia y del desarrollo tecnológico, adquiriendo una formación necesaria para el ciudadano, particularmente en lo que se refiere a una actitud de responsabilidad hacia el porvenir del medio ambiente.

La importancia de estas interacciones C/T/S ha conducido al diseño de módulos de educación científica -e incluso de currículos enteros- centrados en el tratamiento de problemas específicos de interés social como, por ejemplo, el crecimiento de la población o el consumo energético (Rosenthal 1989) y se ha recurrido también al tratamiento interdisciplinar de temas como el desarrollo histórico de la ciencia, las responsabilidades sociales de los científicos, etc. En el programa DISS (Discussion of Issues in School Science) se favorece el debate de los alumnos en torno a aspectos sociales del desarrollo científico después de proyectarles un vídeo apropiado. Solomon (1990) utiliza esta actividad para registrar los debates y estudiar los valores personales de los estudiantes, los conflictos que se generan y los procesos a través de los cuales negocian sus ideas y valores. Ahora bien, como indican Aikenhead y Désautels (1989) o Solbes y Vilches (1989) lo más conveniente es que las interacciones C/T/S sean tratadas en conjunción con los contenidos «normales» de las disciplinas científicas, no renunciando a la construcción de cuer-

pos coherentes de conocimientos (sin lo cual no tiene sentido hablar de ciencia) ni presentando la construcción de estos conocimientos como algo ajeno a las interacciones C/T/S. Con ello el currículo de ciencias no sólo resulta mucho más valorado por los estudiantes, sino que su visión del trabajo científico se enriquece, superando algunos tópicos deformantes.

Se puede así salir al paso de la habitual distinción entre ciencia y técnica, que relega a esta última al papel de una «simple» aplicación de los conocimientos científicos. Interesa, pues, que los alumnos puedan constatar que en muchos casos la frontera entre ciencia y técnica no está bien definida y que uno de los motores del progreso científico es, precisamente, el intento de solucionar algún problema técnico, mientras que en otros casos (como ocurrió, p.e., con el telescopio) son los avances técnicos los que permiten un desarrollo espectacular del conocimiento científico. Del mismo modo se puede cuestionar la idea errónea de que las soluciones a muchos problemas sociales relacionados con las ciencias -como puede ser el de la lluvia ácida, etc- dependen únicamente de un mayor conocimiento científico y de tecnologías más avanzadas. Se trata de un cientifismo simplista que es preciso modificar haciendo ver que la toma de decisiones no constituye una cuestión puramente técnica (Aikenhead 1985). Y, por citar un último ejemplo relevante de preconcepción errónea sobre la ciencia y los científicos que el tratamiento de las interacciones C/T/S hace posible superar, nos referiremos al supuesto carácter neutral que suele atribuirse a la ciencia como depositaria de un conocimiento aséptico, objetivo e imparcial que ignora los graves conflictos históricos y su papel dinamizador del desarrollo científico (Apple 1986).

Podemos concluir, pues, afirmando que las relaciones aprendizaje de las ciencias/ medio no sólo no suponen una «desviación» que nos aleje de los conocimientos científicos, sino que constituyen una profundización en la problemática asociada a su construcción que le da sentido y favorece el interés de los alumnos por la ciencia y su estudio.

II.3.2. La importancia de los factores ambientales en la construcción de conocimientos científicos.

Otro aspecto al que la enseñanza de las ciencias ha prestado escasa atención, hasta muy recientemente, es el relativo a la influencia del clima del aula y del centro en el aprendizaje. Sin embargo, en una revisión de la investigación realizada en las últimas décadas en el campo de la didáctica de las ciencias, Welch (1985) incluye el clima escolar y el clima del aula entre las siete líneas de investigación que aparecen en la literatura como más prometedoras por su posible incidencia positiva en el aprendizaje de las ciencias.

La importancia de estos factores ambientales aparece claramente y con características específicas desde la orientación constructivista que estamos exponiendo en esta segunda parte y que concibe el aprendizaje de las ciencias como una actividad próxima a la investigación realizada por «científicos novatos» en campos que su formador/director de investigaciones domina. En ese caso, resulta sin duda determinante, entre otros:

- la existencia de equipos con expertos capaces de formar a nuevas generaciones de investigadores, ayudándoles a abordar problemas de interés,

realizando un seguimiento interesado de su actividad, proporcionándoles retroalimentación adecuada y facilitando su autonomía creciente;

-la capacidad del experto para transmitir a los novatos expectativas positivas y comunicarles su propia fascinación por la tarea;

-las facilidades de intercambio entre equipos diferentes;

-la existencia de un clima social que potencie y valore la investigación, etc, etc.

Todos estos factores determinan un clima más o menos favorable para el desarrollo de la investigación científica y cabe preguntarse si jugarán un papel igualmente determinante en un aprendizaje de las ciencias concebido como investigación. Conviene tal vez situar esta cuestión en una perspectiva más amplia y plantearse cuales pueden ser los factores que ejercen una influencia determinante en el aprendizaje de las ciencias y explican el éxito o fracaso de alumnos y alumnas.

Cuando se plantea al profesorado de ciencias una cuestión como la anterior, los tres factores que son señalados con porcentajes más elevados son la influencia del medio sociocultural en que vive el alumno, su mayor o menor capacidad intelectual y su actitud hacia el aprendizaje de las ciencias; las referencias a la influencia de la propia escuela, en cambio, son muy escasas. Estudios diversos muestran que, en efecto, el profesorado atribuye espontáneamente el éxito o el fracaso escolar a factores externos a la escuela, particularmente, repetimos, al ambiente familiar y a la capacidad intelectual y actitud negativa de los alumnos (consideradas como algo fijo, predeterminado). Naturalmente hay hechos que apoyan aparentemente estas conclusiones: ¿acaso un profesor no explica por igual a todos los alumnos y, en cambio, unos aprenden y otros no?. Hay que rendirse a la «evidencia» -se dice- y reconocer que muchos alumnos y alumnas, ya sea debido a una escasa inteligencia, ya sea a causa del medio sociocultural -que ejerce una influencia determinante durante los primeros años de vida- tendrán serias dificultades de aprendizaje. Las ciencias y las matemáticas, además, son materias particularmente complejas que no están al alcance de todo el mundo.

¿Qué dice a este respecto la investigación? Numerosos estudios parecen verificar la concepción espontánea del profesorado de que las diferencias en los logros académicos de los alumnos son primordialmente una función del ambiente socioeconómico del que proceden: «De modo global, dos conclusiones parecían emerger de los estudios llevados a cabo, con gran intensidad, a lo largo de la década de 1960 (y parte de la de 1970). Una es que las diferencias que existen entre las escuelas parecen afectar muy levemente al rendimiento instructivo de los alumnos. Así pues, todas las escuelas serían igualmente (in)eficaces. La otra es que la institución sería incapaz de vencer las diferencias que afectan a los alumnos de ambientes socioeconómica y culturalmente deprimidos, no logrando que los alumnos pobres alcancen niveles educativos correspondientes a los alumnos de las clases medias» (Rivas 1986). Toda una serie de estudios (Coleman et al 1966; Averch et al 1972) parecían converger en negar incidencia real a la escuela, reforzando así, repetimos, las concepciones espontáneas de muchos profesores. Ello supondría, sin duda, un serio revés para la concepción del aprendizaje de las ciencias como investigación que atribuye, como ya hemos señalado, una influencia determinante a factores como el clima del centro y del aula. Sin embargo, si se miran más de

cerca esas investigaciones, puede constatarse que responden a una tesis subyacente aceptada acríticamente: la de que la posible influencia de la escuela se mediría esencialmente por los recursos escolares «tales como diferencias en el tamaño de las clases, cantidad de libros de la biblioteca escolar, la 'longitud' de la formación de los profesores, los años de su experiencia docente, sus retribuciones económicas, etc» (Rivas 1986).

II.3.3. Factores de eficacia escolar.

Los resultados de las investigaciones que acabamos de resumir, sólo invalidaban, como hemos visto, la tesis de la influencia determinante de los recursos escolares, pero quedaba en pie la cuestión de si otros factores -los procesos psicosociales, el clima de trabajo, ...- jugaban o no un papel relevante. De hecho se conocían ejemplos de centros escolares que «funcionaban bien», es decir, que tenían una eficacia muy superior a la media para lograr que los alumnos -incluso aquellos de medios socioculturales desfavorecidos- adquirieran las competencias consideradas básicas.

Surgió así una nueva corriente de investigación denominada *effective school research* con un enfoque muy distinto, consistente en detectar un número suficientemente elevado de centros que funcionaran bien, estudiar sus características (con la hipótesis de que existirían algunas comunes que explicarían los mejores logros de sus estudiantes) y derivar, a partir de las mismas, acciones innovadoras aplicables a la generalidad de los centros. Los resultados de dicha investigación -que se ha desarrollado a lo largo de las dos últimas décadas- han sido del mayor interés, revelando la existencia de algunos factores de eficacia escolar:

Nos referiremos en primer lugar a las *altas expectativas* que los profesores de los centros eficaces poseen y transmiten a sus alumnos. Esta influencia de las expectativas del profesorado ha sido puesta en evidencia por investigaciones muy diversas: podemos recordar, por ejemplo, el conocido «efecto pigmalión» (Rosenthal y Jacobson 1968) consistente en indicar a los profesores los nombres de algunos alumnos especialmente dotados según los tests de inteligencia, pero en realidad escogidos completamente al azar: dichos alumnos hicieron progresos notable y objetivamente superiores al resto de sus compañeros en general.

Un estudio más reciente (Spears 1984) ha revelado el peso de las expectativas del profesorado en las diferencias de logro entre alumnos y alumnas en asignaturas como la física. Estas diferencias han sido reiteradamente señaladas por la investigación y han dado lugar a una línea de investigación sobre el sexismo en la enseñanza de las ciencias. El estudio de Spears a que nos referimos consistió en proponer la corrección de un cierto número de ejercicios a 306 profesores de Enseñanza Media con objeto de que evaluaran toda una serie de aspectos: nivel, precisión científica, aptitud para la ciencia, ... Cada ejercicio fue presentado al 50% de los profesores como realizado por un alumno y al otro 50% como obra de una alumna. Los resultados muestran claramente que los mismos ejercicios eran calificados más altos cuando eran atribuidos a chicos y que los profesores valoraban más positivamente la capacidad de los «varones» para proseguir estudios científicos. Estos resultados llevan lógicamente a preguntarse si las diferencias de logro detectadas por numerosas investigaciones entre chicos y chicas no serán debidas a los juicios y expectativas del profesorado, que refuerzan idénticas presiones del medio

social. Y cabe también preguntarse si la escuela no será igualmente responsable, al menos en parte, de las diferencias entre alumnos procedentes de medios socioculturales favorecidos y desfavorecidos.

Por nuestra parte, hemos realizado un estudio similar consistente en solicitar la corrección de un mismo ejercicio a distintos profesores, pero dando a entender en unos casos que correspondía a un alumno brillante y en otros a un alumno mediocre. La nota media del alumno «brillante» fue superior en cerca de dos puntos (sobre 10) a la del mediocre. Resultados como éste no sólo prueban la extraordinaria influencia de las expectativas del profesor -y de las que logra generar en los alumnos (Hasan 1985; Simpson y Oliver 1990)- sino que muestran hasta qué punto es falsa la creencia ingenua de que las diferencias en los logros de los alumnos se explican por su distinta capacidad o por su origen sociocultural: es cierto que el profesor puede apreciar diferencias reales en la comprensión, actitud hacia el aprendizaje, etc, de sus alumnos; pero lo realmente determinante no son esas diferencias iniciales, sino las distintas expectativas que ello produce en el profesorado. La creencia profunda, fruto de innumerables «evidencias» parece ser: no todos los alumnos pueden tener éxito; a partir de ahí las observaciones iniciales permiten distinguir los «buenos» de los «malos» alumnos, generando expectativas que se traducen en retroalimentaciones selectivas que apoyan al alumno que va bien y rechazan o ignoran al que va mal.. Los resultados, en general, terminan ajustándose a las expectativas. Por el contrario, si el profesor adquiere el convencimiento de que la mayoría de los alumnos pueden tener éxito -contando con la ayuda necesaria- su retroalimentación será sistemáticamente positiva para todos los alumnos y los resultados, en general, terminan siendo positivos también. Esto es precisamente lo que se ha constatado en las escuelas eficaces y lo que cabe esperar de un «director de investigaciones»: el apoyo a cada uno de los investigadores, transmitiéndoles expectativas positivas y proporcionándoles la ayuda necesaria para que esas expectativas se conviertan en realidad.

Un segundo factor de eficacia escolar que puede incluirse en el clima del aula, puesto de relieve por la effective school research, es el *tiempo escolar de aprendizaje*, entendiendo por tal, como precisa Rivas, el que corresponde a una activa implicación del alumno en las tareas, siempre que éstas estén adecuadamente programadas para producir una notoria proporción de éxitos. De nuevo esto contrasta con lo que ocurre en la enseñanza habitual, pero es coherente con el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación: en efecto, un buen director intentará programar el trabajo de los investigadores -teniendo en cuenta niveles de dificultad, dosificación, etc- y proporcionará la ayuda que estos precisen (¡pero no más!) para que se produzca un adecuado progreso en la tarea. En este sentido cobra toda su importancia la organización de la clase en equipos de trabajo y la facilitación de los intercambios entre los equipos a que nos hemos referido mas arriba.

Un ambiente ordenado de disciplina compartida constituye otro de los rasgos que caracterizan a las escuelas efectivas. No se trata, como señala Ausubel «de sometimiento explícito a la autoridad ni de hábitos implícitos de obediencia (...) la buena disciplina es ordinariamente un producto derivado y natural de lecciones interesantes y de una saludable relación entre maestro y alumno» (Ausubel 1978, capítulo 14). La implicación de los alumnos en tareas interesantes, los progresos

en dichas tareas y la valoración positiva que ese trabajo recibe constituyen los requisitos para un ambiente de trabajo ordenado y distendido, más próximo, una vez más, de un centro de investigación que de esas aulas en las que se percibe «una atmósfera de control (...) que el profesor mantiene con grandes y deliberados esfuerzos» (Ausubel 1978) como corresponde a una situación de «trabajos forzados».

Otra característica especialmente relevante de las escuelas eficaces es la continua retroalimentación que los profesores proporcionan sobre los progresos en las tareas, siempre desde la óptica de una valoración positiva, de una ayuda. Todos estos factores de eficacia escolar en torno al clima del aula pueden interpretarse coherentemente como implicaciones del modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación. Algunos de dichos factores -ambiente ordenado de trabajo, autodisciplina compartida, etc- son igualmente válidos en lo que se refiere al clima del centro, pero, como es lógico, este tiene sus exigencias propias que son también resaltadas por la *effective school research* y que resultan coherentes con el modelo de aprendizaje de las ciencias que venimos proponiendo.

Destacaremos fundamentalmente dos factores de eficacia escolar relacionados con el clima de centro: en primer lugar, la existencia de un *proyecto de centro*, el establecimiento de un conjunto limitado de objetivos básicos, bien definidos y alcanzables, sobre los que se concentren los esfuerzos de los miembros de la comunidad escolar. Podría entenderse que ello es necesario en la medida en que la educación secundaria no es exclusivamente científica y resulta inevitable alcanzar consensos sobre los objetivos generales de esa educación que impliquen a todo el profesorado. Sin embargo hay que insistir en que la vinculación del aprendizaje de las ciencias al resto de lo que constituye una amplia preparación cultural es un objetivo de la misma educación científica, que no puede considerarse un compartimento estanco, como reflejan las complejas interacciones ciencia/ técnica/ sociedad a que nos hemos referido en el apartado anterior.

Conviene señalar que, con la adopción de las propuestas de un Diseño Curricular Base y de distintos niveles de concreción curricular (Coll 1989, Nieda 1990), la nueva Ley General de Ordenación del Sistema Educativo ha reconocido en España la posibilidad de que los centros concreten su propio proyecto, en función de los múltiples factores que configuran una situación educativa particular (MEC 1989).

En estrecha relación con el punto anterior destaca la participación del profesorado de las escuelas eficaces en tareas de (auto)formación permanente y su *implicación en innovaciones e investigaciones educativas*. Los profesores adquieren así las características de «investigadores en la acción» (Stenhouse 1975, Porlan 87) que realizan un trabajo abierto, creativo, que les permite superar el clima de frustración que acompaña a menudo a la actividad docente. Se cierra así el círculo de una serie de factores indudablemente interdependientes: ¿cómo podría pensarse, en efecto, que el aprendizaje de los alumnos tenga las características de una investigación, si la dirección de ese trabajo no constituye para el profesorado una actividad creativa?

La importancia del clima escolar se manifiesta claramente en la serie de factores que hemos comentado, contribuyendo a profundizar, como hemos visto, el

modelo emergente de aprendizaje de las ciencias como investigación que venimos presentando y que constituye, en nuestra opinión, la orientación innovadora más fructífera hoy en la enseñanza de las ciencias. Abordaremos ahora, para terminar esta segunda parte, la cuestión fundamental de la evaluación.

II.4. La necesidad de innovaciones en la evaluación

Resumen II.4

Las innovaciones en la enseñanza no pueden darse por consolidadas -se argumenta en este apartado- si no se reflejan en transformaciones similares en la evaluación. Se revisan por ello críticamente las ideas y comportamientos docentes «de sentido común» sobre la evaluación, que actúan como obstáculo a la innovación en este campo.

Se discuten a continuación las funciones y características de una evaluación coherente con un aprendizaje de las ciencias como investigación.

Se proponen, por último, algunas formas concretas de llevar a cabo dicha evaluación.

II.4.1. Las innovaciones curriculares exigen transformaciones en la evaluación.

Transformar la enseñanza de las ciencias -venimos insistiendo a lo largo de esta revisión de las tendencias y experiencias innovadoras- exige superar los planteamientos puntuales, elaborar un nuevo modelo que integre coherentemente los distintos aspectos del proceso de enseñanza/ aprendizaje, sin olvidar, por supuesto, la evaluación. La investigación didáctica ha puesto de relieve a este respecto que las innovaciones en el currículo no pueden darse por consolidadas si no se reflejan en transformaciones similares en la evaluación (Linn 1987). En efecto, poco importan las innovaciones introducidas o los objetivos enunciados: si la evaluación continúa consistiendo en pruebas terminales para constatar el grado de asimilación de algunos conocimientos conceptuales, en ello residirá el verdadero objetivo asignado por los alumnos al aprendizaje.

La necesidad de innovaciones en la evaluación es particularmente necesaria, porque todo parece indicar que la evaluación es uno de los puntos donde más «chirría» el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, o, si se prefiere, donde más claramente se manifiestan sus insuficiencias. En particular, es quizás el aspecto que establece una línea de confrontación más clara entre profesores y alumnos, contribuyendo a distorsionar el clima del aula. Es también uno de los dominios en el que las ideas y comportamientos docentes «de sentido común» (inevitabilidad del fracaso de un porcentaje elevado de alumnos, dado que «no todo el mundo está capacitado para las ciencias», facilidad de evaluar las materias científicas con objetividad y precisión, etc, etc) se muestran más persistentes (Gil et al 1991; Alonso, Gil y Mtnez-Torregrosa, 1992). El replanteamiento de la evaluación exige, en primer lugar, el cuestionamiento de estas concepciones, que actúan como un auténtico obstáculo. Procederemos, pues, a su análisis.

II.4.2. Cuestionar las concepciones espontáneas sobre la evaluación.

Sobre la precisión y objetividad de las pruebas cabe decir que los estudios de docimología (Hoyat 1962; López, Llopis y Llorens 1983) han mostrado notables diferencias entre las puntuaciones dadas por distintos profesores a un mismo ejercicio de Física o Matemáticas; y también que las notas que el mismo profesor da a los mismos ejercicios en momentos diferentes (p.e., tras un intervalo de tres meses)

pueden sufrir grandes oscilaciones. Mayor importancia tiene aún la enorme influencia de las expectativas del profesor a que nos hemos referido al hablar del clima del aula: podemos recordar así la investigación realizada por Spears (1984) que muestra como un mismo ejercicio es valorado sistemáticamente más bajo cuando es atribuido a una alumna que cuando se supone obra de un alumno; o el «efecto pigmalión», que se traduce en valoraciones netamente más altas de aquellos ejercicios atribuidos a alumnos «brillantes».

Todos estos resultados cuestionan la supuesta precisión y objetividad de la evaluación en un doble sentido: por una parte muestran hasta qué punto las valoraciones están sometidas a amplísimos márgenes de incertidumbre y, por otra, hacen ver que la evaluación constituye un instrumento que afecta muy decisivamente a aquello que pretende medir; dicho de otro modo, los profesores no sólo nos equivocamos al calificar (dando, p.e., puntuaciones más bajas en materias como la Física a ejercicios que creemos hechos por chicas), sino que contribuimos a que nuestros prejuicios -los prejuicios, en definitiva, de toda la sociedad- se conviertan en realidad: las chicas acaban teniendo logros inferiores y actitudes más negativas hacia el aprendizaje de la Física que los chicos; y los alumnos considerados mediocres terminan efectivamente siéndolo. La evaluación resulta ser, más que la medida objetiva y precisa de unos logros, la expresión de unas expectativas en gran medida subjetivas pero con una gran influencia sobre los alumnos.

Un segundo bloque de preconcepciones subyace, en realidad, tras esa búsqueda de «objetividad» como ya vimos en el apartado II.3: la idea de que sólo una parte de los alumnos está realmente capacitada para seguir con éxito estudios científicos; esa es la razón, por ejemplo, de que una determinada prueba sea considerada tanto mejor diseñada cuanto más se ajustan los resultados a una campana de Gauss con el 5 en el centro (lo que supone, claro está, que el 50% de los alumnos no alcanza el mínimo exigido). Y esa es también la razón de que un profesor que apruebe a la mayoría de sus alumnos -en una materia científica, por supuesto- no sea considerado «serio». Son estas expectativas negativas las que determinan en gran medida, lejos de toda objetividad, los resultados del aprendizaje. Conviene llamar la atención, antes de proseguir, sobre el papel *positivo* de las investigaciones que están ayudando a sacar a la luz estas preconcepciones y su influencia: en la misma medida en que se comprende el efecto negativo que determinadas expectativas ejercen, se abre la vía a concepciones y comportamientos de sentido contrario. Los resultados de la effective school research a que ya hemos hecho referencia son una buena muestra de lo que ocurre cuando las habituales expectativas negativas dejan paso a la convicción de que la generalidad de los alumnos puede tener éxito si son debidamente ayudados.

Hemos dejado para último lugar la consideración del papel de la evaluación en el proceso de enseñanza/ aprendizaje. Esta no es una cuestión que los profesores de ciencias suelen plantearse explícitamente, y cuando ello ocurre es en relación con el papel selectivo del sistema educativo: la evaluación en la enseñanza ordinaria suele ajustarse, efectivamente, a la constatación del «aprovechamiento» del alumno, asignándole una calificación que pretende servir de base objetiva para su promoción. Conviene, por supuesto, plantearse con la máxima atención -a la luz del cuerpo de conocimientos que hemos ido estableciendo hasta aquí- esta cuestión clave de las funciones de la evaluación, rompiendo así con las concepciones espontáneas que acabamos de analizar someramente.

II.4.3. Características de una evaluación coherente con los planteamientos constructivistas.

Desde la concepción del aprendizaje que venimos desarrollando y fundamentando es difícil encontrar funcionalidad a una evaluación consistente en el enjuiciamiento «objetivo» y terminal de la labor realizada por cada alumno. Por el contrario, como formador de investigadores novatos, el profesor ha de considerarse corresponsable de los resultados que estos obtengan: no puede situarse frente a ellos, sino con ellos; su pregunta no será «quien merece una valoración positiva y quien no», sino «qué ayudas precisa cada cual para seguir avanzando y alcanzar los logros deseados». Sabe que para ello son necesarios un seguimiento atento y una retroalimentación constante que reoriente e impulse la tarea. Eso es lo que ocurre en los equipos de investigación que funcionan correctamente y eso es lo que tiene sentido también, en nuestra opinión, en una situación de aprendizaje creativo, orientada a la construcción de conocimientos, a la investigación. Los alumnos han de poder cotejar sus producciones con las de otros equipos y -a través del profesor/director de investigaciones- con el resto de la comunidad científica; y han de ver valorado su trabajo y recibir la ayuda necesaria para seguir avanzando, o para rectificar si necesario. Este tipo de evaluación «formativa» (Novak 1982; Coll 1987) es consubstancial con cualquier tarea con aspiración científica y debe formar parte, pues, del proceso de enseñanza/ aprendizaje de las ciencias. Se trata de concebir y utilizar la evaluación como instrumento de aprendizaje que permita suministrar retroalimentación adecuada a los alumnos... y al propio profesor, contribuyendo a la mejora de la enseñanza. Pero, ¿cuáles habrían de ser las características de la evaluación para que se convierta en un instrumento de aprendizaje?

1. Una primera característica que ha de poseer la evaluación para jugar un papel orientador e impulsador del trabajo de los alumnos es que pueda ser percibida por estos como ayuda real, generadora de expectativas positivas. El profesor ha de lograr transmitir su interés por el progreso de los alumnos y su convencimiento de que un trabajo adecuado terminará produciendo los logros deseados, incluso si inicialmente aparecen dificultades. Se precisa un esfuerzo especial para dar a muchos alumnos la seguridad de que pueden llegar a hacer bien las cosas. Conviene para ello una planificación muy cuidadosa de los inicios del curso, comenzando con un ritmo pausado, revisando cuidadosamente los pre-requisitos (para que no se conviertan, como a menudo ocurre, en obstáculos), planteando tareas simples, etc. Es preciso ser consciente de que unos primeros resultados negativos no sólo generan expectativas negativas en muchos profesores que «condenan» literalmente a los alumnos implicados, sino que para estos mismos alumnos constituyen, en general, un refuerzo negativo que les induce a abandonar, a adoptar una actitud de rechazo y de mínimo esfuerzo. Hay que evitar esto con todo tipo de ayuda, comenzando con la manifestación explícita y convencida de que los resultados «negativos» no son tales, sino que sirven para detectar las insuficiencias a cubrir, siguiendo con sobreenseñanza, trabajo con otros compañeros, etc, y terminando con la realización de nuevas pruebas que muestren los progresos conseguidos. Algunos profesores pueden pensar que ello ha de traducirse en pérdidas de tiempo que perjudicarán a los alumnos bien preparados cuyo derecho a aprender no debe ser ignora-

do. Pero, en realidad, lo que sucede es todo lo contrario: esta aparente pérdida de tiempo inicial permite romper con la rémora que supone a lo largo del curso la existencia de un núcleo importante de alumnos que «no siguen». Se produce así un progreso global favorable *también* para los alumnos mejor preparados. Todo esto, por supuesto, debe ser explicitado para evitar inquietudes y tensiones innecesarias y transmitir, en definitiva, expectativas positivas a *todos* los alumnos.

2. Una segunda característica que ha de poseer la evaluación para que pueda jugar su función de instrumento de aprendizaje es su extensión a todos los aspectos -conceptuales, procedimentales y actitudinales- del aprendizaje de las ciencias, rompiendo con su habitual reducción a aquello que permite una medida más fácil y rápida: la memorización repetitiva de los «conocimientos teóricos» y su aplicación igualmente repetitiva a ejercicios de lápiz y papel. Se trata de ajustar la evaluación -es decir, el seguimiento y la retroalimentación- a las finalidades y prioridades establecidas para el aprendizaje de las ciencias. Sin caer en taxonomías muy pormenorizadas de objetivos operativos (Bloom, Hastings y Madaus 1975) -expresión de orientaciones conductistas hoy claramente en retroceso (Gimeno 1982)- es necesario tener presente los grandes objetivos de la educación científica y los obstáculos a superar (Martinand 1986) para hacer posible los cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales que esa educación entraña.

Por otra parte, es preciso no olvidar, a la hora de fijar los criterios, que sólo aquello que es evaluado es percibido por los alumnos como realmente importante. Es necesario, además, ampliar la evaluación más allá de lo que supone la actividad individual de los alumnos: la evaluación de aspectos como el clima de la clase, el funcionamiento de los pequeños grupos, las intervenciones del profesor, etc, contribuyen a romper con la concepción de la evaluación como simple enjuiciamiento de los alumnos y a hacer sentir que realmente se trata del seguimiento de una tarea colectiva para incidir positivamente en la misma.

La aceptación de la evaluación como algo necesario para alcanzar los objetivos asumidos se ve favorecida si se comienza evaluando aspectos distintos de la actividad individual (funcionamiento de los pequeños grupos, intervenciones del profesor, etc), si se valora todo aquello que los alumnos hacen (desde un póster confeccionado en equipo al cuaderno personal de clase...), además de los resultados de las pruebas, y si los alumnos participan en la regulación de su propio proceso de aprendizaje (Linn 1987; Baird 1988) dándoles oportunidad de reconocer y valorar sus avances, de rectificar sus ideas iniciales, de aceptar el error como inevitable en el proceso de construcción de conocimientos. Ello no quiere decir -como a veces temen algunos profesores- que se de menos importancia a los conocimientos y destrezas que cada alumno ha de adquirir: por el contrario, se trata de favorecer al máximo dicha adquisición; se evalúan aspectos como el clima del aula o el funcionamiento de los pequeños grupos, no para esconder -tras una nebulosa valoración global- lo que cada alumno ha logrado aprender, sino para favorecer el progreso de todos y cada uno de los alumnos, que han de tener ocasión, por supuesto, de percibir su avance personal.

Pero esto nos remite a las formas de la evaluación, que abordaremos más abajo. Antes, sin embargo, nos referiremos a una última característica que la evaluación debería poseer.

3. Si aceptamos que la cuestión esencial no es averiguar quienes son capaces de hacer las cosas bien y quienes no, sino lograr que la gran mayoría consiga hacerlas bien, es decir, si aceptamos que el papel fundamental de la evaluación es incidir positivamente en el proceso de aprendizaje, es preciso concluir que ha de tratarse de una evaluación a lo largo de todo el proceso y no de valoraciones terminales. Ello no supone -como a menudo interpretan los profesores y los propios alumnos- parcializar la evaluación realizando pruebas tras períodos más breves de aprendizaje para terminar obteniendo una nota por acumulación (Satterly y Swann 1988) sino, insistimos, integrar las actividades evaluadoras a lo largo del proceso con el fin de incidir positivamente en el mismo, dando la retroalimentación adecuada y adoptando las medidas correctoras necesarias (Colombo, Pesa y Salinas 1986). Es cierto que cinco pruebas, aunque tengan un carácter terminal -tras la enseñanza de un determinado dominio- es mejor que una sola al final del curso; al menos habrán contribuido a impulsar un estudio más regular evitando que se pierdan todavía más alumnos; pero su incidencia en el aprendizaje sigue siendo mínima, o, peor aún, puede producir efectos distorsionantes. En efecto, a menudo la materia evaluada ya no vuelve a ser tratada, por lo que los alumnos que superaron las pruebas pueden llegar al final del curso habiendo olvidado prácticamente todo lo que estudiaron, teniendo conocimientos incluso más escasos que quienes fracasaron inicialmente y se vieron obligados a revisar por su cuenta. Se acentúa así, además, la impresión de que no se estudian las cosas para adquirir unos conocimientos útiles e interesantes, sino para pasar unas pruebas. Es importante a este respecto ser conscientes de las leyes del olvido y planificar revisiones/ profundizaciones de aquello que se considere realmente importante, para que los alumnos afiancen dichos conocimientos aunque ello obligue, claro está, a reducir el currículo eliminando aspectos que, de todas formas, serían mal aprendidos y olvidados muy rápidamente.

Vistas las características fundamentales que una evaluación habría de poseer para convertirse en un instrumento eficaz de aprendizaje, conviene ahora detenerse en considerar las formas concretas de realizar dicha evaluación.

II.4.4. Actividades de evaluación favorecedoras del aprendizaje.

Cabe decir en primer lugar que una orientación constructivista del aprendizaje permite que cada actividad realizada en clase por los alumnos constituya una ocasión para el seguimiento de su trabajo, la detección de las dificultades que se presentan, los progresos realizados, etc, etc. Es ésta una forma de evaluación extraordinariamente eficaz para incidir «sobre la marcha» en el proceso de aprendizaje, que se produce, además, en un contexto de trabajo colectivo, sin la interferencia de la ansiedad que produce una prueba. Ello no elimina, sin embargo, la necesidad de pruebas individuales que permitan constatar el resultado de la acción educativa en cada uno de los alumnos y obtener información para reorientar convenientemente su aprendizaje. A tal efecto resulta muy conveniente la realización de

alguna pequeña prueba en la mayoría de las clases sobre algún aspecto clave de lo que se ha venido trabajando. Ello permite:

- impulsar al trabajo diario y comunicar seguridad en el propio esfuerzo,
- dar información al profesor y a los alumnos sobre los conocimientos que se poseen, sobre las deficiencias que se hayan producido -haciendo posible la incidencia inmediata sobre las mismas- y sobre los progresos realizados, contribuyendo así a crear expectativas positivas;
- reunir un número elevado de resultados de cada alumno reduciendo sensiblemente la aleatoriedad de una valoración única

El contenido de estas pruebas y de toda la evaluación ha de remitir, claro está, a todos los aspectos -conceptuales, procedimentales y actitudinales- del aprendizaje de las ciencias, siendo necesario un esfuerzo particular para romper, como señalábamos más arriba, con la habitual reducción de las evaluaciones a los aspectos conceptuales. Digamos para terminar que conviene discutir inmediatamente las posibles respuestas a la actividad planteada, lo que permitirá conocer si la clase está o no preparada para seguir adelante con posibilidades de éxito. Se favorece así la participación de los alumnos en la valoración de sus propios ejercicios, es decir, su autoregulación, pudiéndose aprovechar también esta discusión como introducción al trabajo del día, centrando la atención de los alumnos de una forma particularmente efectiva.

Pese al interés y efectividad de estas pequeñas pruebas consideramos que los exámenes o pruebas más extensas siguen siendo necesarios. Es cierto que el examen es visto a menudo como simple instrumento de calificación de los alumnos, siendo criticado a justo título por lo que supone de aleatoriedad, tensión bloqueadora, etc; sin embargo un examen, es decir, un ejercicio global, es también ocasión de que el alumno se enfrente con una tarea compleja y ponga en tensión todos sus conocimientos (Hoyat 1962). Por nuestra parte, asumiendo la crítica al examen como instrumento exclusivo de calificación, queremos referirnos a su papel como ocasión privilegiada de aprendizaje si se cumplen algunas condiciones:

- En primer lugar es necesario que el examen suponga la culminación de una revisión global de la materia considerada, incluyendo actividades coherentes con un aprendizaje por construcción de conocimientos: desde análisis cualitativos de situaciones abiertas al tratamiento de las relaciones ciencia/ técnica/ sociedad; desde la construcción y fundamentación de hipótesis -más allá de las evidencias de sentido común- a la interpretación de los resultados de un experimento, etc, etc.
- En segundo lugar, es también necesario que el examen sea devuelto corregido lo antes posible y se discutan, cuestión por cuestión, las posibles respuestas, los errores aparecidos, la persistencia de preconcepciones, etc. Los alumnos, con su examen delante, se mantienen abiertos y participativos como nunca en estas sesiones que constituyen actividades de autorregulación muy eficaces.
- Es muy conveniente, tras esta discusión, solicitar de los alumnos que rehagan de nuevo el examen en su casa con todo cuidado y vuelvan a entregarlo. Ello contribuye muy eficazmente a afianzar lo aprendido, como pue-

de constatarse en los días siguientes con la realización de pequeños ejercicios sobre los aspectos que hubieran planteado más dificultades.

-Es también necesario que las condiciones de realización del examen sean compatibles con lo que supone una construcción de conocimientos -que conlleva tentativas, rectificaciones, etc- y, en particular, que los alumnos no se vean constreñidos por limitaciones de tiempo que sólo son compatibles con la simple regurgitación de conocimientos memorizados.

Hemos de insistir, sin embargo, en que los alumnos han de ver debidamente valoradas todas sus realizaciones -desde la construcción de un instrumento a su cuaderno de clase- y no solamente aquellas planteadas como pruebas. Se incrementa así la información disponible para valorar y orientar adecuadamente el aprendizaje de los alumnos y se contribuye a que estos vean reconocidos todos sus esfuerzos con el consiguiente efecto motivador.

II.4.5. La evaluación de la enseñanza.

Por último, es preciso señalar que, aunque la concepción de la evaluación como instrumento de aprendizaje -substituyendo a la de juicio terminal sobre los logros de los alumnos- representa un indudable progreso, éste resulta insuficiente si no se contempla también como un instrumento de mejora de la enseñanza. En efecto, las disfunciones en el proceso de enseñanza/ aprendizaje no pueden atribuirse exclusivamente a dificultades de los alumnos y resultará difícil que los alumnos no vean en la evaluación un ejercicio de poder irracional si sólo se cuestiona su actividad. Si realmente se pretende hacer de la evaluación un instrumento de seguimiento y mejora del proceso, es preciso no olvidar que se trata de una actividad colectiva, de un proceso de enseñanza/ aprendizaje en el que el papel del profesor y el funcionamiento del centro constituyen factores determinantes. La evaluación ha de permitir, pues, incidir en los comportamientos y actitudes del profesorado. Ello supone que los alumnos y alumnas tengan ocasión de discutir aspectos como el ritmo que el profesor imprime al trabajo o la manera de dirigirse a ellos. De esta forma aceptaran mucho mejor la necesidad de la evaluación que aparecerá realmente como un instrumento de mejora de la actividad colectiva.

Por otra parte, conviene recordar que la idea de un aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida es solidaria de la concreción del currículo en programas de actividades a través de los cuales los alumnos puedan construir conocimientos y adquirir destrezas y actitudes. Nada garantiza, sin embargo, que las actividades diseñadas sean adecuadas y conduzcan a los resultados previstos. Será necesario, pues, que la evaluación se extienda a los programas de actividades e implique a los equipos de profesores en una tarea de revisión permanente del currículo que adquiere las características de una investigación (Gil 1982; Driver y Oldham 1986).

Terminaremos aquí, pues, estas reflexiones sobre la evaluación, que nos han permitido un replanteamiento de su función y formas habituales e integrarla coherentemente en el modelo de enseñanza/ aprendizaje de las ciencias como investigación. Este modelo aparece así como resultado -y, a su vez, como motor- de experiencias innovadoras fundamentadas que se refuerzan mutuamente, conformando un cuerpo coherente de conocimientos. Se superan de este modo los planteamientos puntuales, atóricos, que han caracterizado, a menudo, los intentos de

innovación en la didáctica de las ciencias. Y parece abrirse la posibilidad de un desplazamiento efectivo del modelo de enseñanza por transmisión de conocimientos elaborados.

Conclusión

La revisión de las tendencias innovadoras en enseñanza de las ciencias que hemos realizado, permite extraer algunas ideas clave que creemos conveniente resumir aquí a modo de conclusión:

Es preciso insistir, en primer lugar, contra la búsqueda ingenua de recetas de fácil aplicación. Las propuestas puntuales, no fundamentadas, han de dejar paso a elaboraciones capaces de integrarse coherentemente en un cuerpo de conocimientos teórico-prácticos que abarque todo el proceso de enseñanza/ aprendizaje de las ciencias.

En esta perspectiva investigativa, las distintas propuestas innovadoras dejan de constituir un movimiento browniano para convertirse en etapas de una búsqueda sistemática, progresiva, pero no lineal, en la que van a darse -como en cualquier dominio científico- avances parciales, bloqueos y reestructuraciones profundas.

Quizás el momento actual, caracterizado por la emergencia del modelo constructivista, corresponda a una auténtica y fructífera reestructuración, capaz de integrar los distintos hallazgos puntuales en una propuesta global y coherente que pueda desplazar al modelo de enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados. Los estudios recogidos en este trabajo -que abarcan los aspectos fundamentales del proceso de enseñanza/ aprendizaje de las ciencias- así parecen indicarlo.

Digamos por último que, al margen de la evolución que las propuestas de enseñanza de las ciencias puedan experimentar, lo que sí parece claro hoy es la necesidad de convertir la tarea docente en una actividad con aspiración científica. Ello ha de conllevar, como es lógico, transformaciones en las condiciones de trabajo del profesorado: no puede pensarse en el profesor como miembro de una comunidad científica cuando se le está imponiendo -como ocurre en muchos de nuestros países- un horario lectivo desmesurado. La reducción de dicho horario, acompañada de una ampliación del tiempo destinado a tareas colectivas de innovación e investigación, se convierte así en requisito ineludible de una transformación efectiva de la enseñanza. Sin ello, los estudios sobre tendencias innovadoras como este, resultarán infructuosos.

Referencias bibliográficas

- AIKENHEAD G,S, 1985. Collective decision making in the social context of science. *Science Education* 69 (4), 453-475.
- AIKENHEAD G,S y DESAUTELS J, 1989. Monitoring student views on S-T-S topics: the development of multiple-choices items. (Comunicación presentada en el simposium de la NARST en abril de 19899. San Francisco).
- ALONSO M, GIL D y MTNEZ-TORREGROSA J, 1992, Concepciones espontáneas de los profesores de ciencias sobre la evaluación: obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 18-38.
- APPLE M,W, 1986. *Ideología y Currículo*. (Akal: Madrid).
- AUSUBEL D,P., 1978. *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).
- AVERCH H,A et al, 1972. How effective is schooling?. Research on Exemplary Schools. (Citado por Rivas 1986).
- BACHELARD, G., 1938. *La formation de l'esprit scientifique*. (Vrin: París).
- BAEZ A.B., 1977, *L'innovation dans l'enseignement des sciences: synthese mondial*. (UNESCO: Paris)
- BAIRD J,R, 1986. Improving learning trough enhanced metacognition: A classroom study. *European Journal of Science education*, 8 (3), 263-282.
- BERNAL J,D, 1967. *Historia Social de la Ciencia*. (Península: Barcelona).
- BLOOM B, HASTINGS T y MADAUS G, 1975. *Evaluación del aprendizaje*. (Troquel: Buenos Aires).
- CARAMAZZA A, McCLOSKEY M y GREEN B, 1981. Naive beliefs in «sophisticated» subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognitions*, 9, 117-123.
- CARRASCOSA J, 1985. Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 230-234.
- CARRASCOSA J, 1987. Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales. Tesis Doctoral. (Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia: Valencia).
- CARRASCOSA J y GIL D, 1985. La metodología de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciencies. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 113-120.
- CHAMPAGNE A,B, GUNSTONE R,F y KLOPFER L,E, (1985). Effecting changes in cognitive structures among physics students. In West L.H.T. and Pines A.L. (Eds). *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando. FL: Academic Press.
- COLEMAN et al, 1966. *Equality of Educational Opportunity* (Citado por Rivas 1986).
- COLL C, 1987. *Psicología y Curriculum*. (Barcelona: Laia).

- COLL C, 1989. Diseño Curricular Base y Proyectos Curriculares. *Cuadernos de Pedagogía*, 168, 8-14.
- COLOMBO DE CUDMANI L, PESA DE DANON M y SALINAS DE SANDOVAL J, 1986. La realimentación en la evaluación de un curso de laboratorio de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 122-128.
- DE LA ROSA C et al, 1984. Common sense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*. 6 (4), 387-397.
- DEWEY, J. 1945. Methods in Science Teaching. *Science Education*, 29, 119-123.
- DRIVER R, 1986. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.
- DRIVER R, 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 109-120.
- DRIVER R y EASLEY J, 1978. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, vol 10, pp 37-70.
- DRIVER R y OLDHAM V, 1986. A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- ENGEL E y DRIVER R, 1986. A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70 (4), 473-496.
- FREDETTE N y LOCHHEAD J, 1981. Students conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, vol 18, 194-198.
- FREINET C, 1976. *La enseñanza de las ciencias*. (Laia: Barcelona).
- FREY K, 1989. Integrated science curriculum: 20 years on. *International Journal of Science Education*, 11 (1), 3-17.
- FURIO C, 1986. Un curriculum de Física y Química para EEMM basado en la investigación didáctica. Primeros resultados. Actas de las IV Jornadas de Investigación en la Escuela. Sevilla.
- FURIO C y GIL D, 1978. *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química*. (ICE de la Universidad de Valencia).
- GENE A, 1986. Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada. Tesis Doctoral. (Biblioteca de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona: Barcelona).
- GIL D, 1982. *La investigación en el aula de Física y Química*. (Anaya: Madrid).
- GIL D, 1983. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.
- GIL D y CARRASCOSA J, 1985. Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.

- GIL D, CARRASCOSA J FURIO C y MTNEZ-TORREGROSA J, 1991, *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori: Barcelona)
- GILBERT G.L, How do I get the answer?. *Journal of Chemical Education*, 57, 79-81
- GILBERT J,K, OSBORNE R,J y FENSHMAN P,J, 1982. Children's Science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66 (4), 623-633.
- GIMENO J, 1982. *La pedagogía por objetivos: obsesión por la eficiencia*. (Morata: Madrid).
- GIORDAN A, 1978. Observation - Experimentation: mais comment les élèves apprennent-ils?. *Revue Francaise de Pedagogie*, 44, 66-73.
- GIORDAN A, 1985. Interés didáctico de los errores de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (1), 11-17.
- GRANDA A, 1988. Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 239-243.
- HAGGIS S y ADEY P, 1979. A review of integrated science education worldwide. *Studies in Science Education*, 61, 69-89.
- HALLOUN I,A y HESTENES D, 1985. Common sense concepts about motion. *American Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.
- HASAN O,E, 1985. An investigation into factors affecting attitudes toward science of secondary school students in Jordan. *Science Education* 69 (1), 3-18.
- HASHWEH M,Z, 1986. Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- HEWSON P,W, (1985). Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics. *European Journal of Science Education*, 7, 163-172.
- HEWSON P,W y THORLEY N,R 1989. The conditions of conceptual change. *International Journal Science Education*. Vol 11, special issue, 541-553.
- HIERREZUELO J et al, 1989. *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. (Ed Laia MEC. Colección Cuadernos de Pedagogía).
- HODSON D, 1988. Towards a phylosophicaly more valid science curriculum. *Science Education*, 72 (1), 19-40.
- HOYAT F, 1962. *Les Examens*. (Institut de l'UNESCO pour l'Educa-tion. Ed Bourrellier: París).
- JANWEIJER W, ELSHOUT J y WEILINGER B, 1987, Modeling the genuine beginner: on the multiplicity of learning to solve problems. Early Conference. Tubingen.
- JIMENEZ M,P, 1987. Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 165-167.
- JIMENEZ M,P y OTERO L, 1990. La ciencia como construcción social. *Cuadernos de Pedagogía*, 180, 20-22.
- KEMPA R.F, 1991, Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las ciencias*, 9(2).

- KRULIK S y RUDNICK K, 1980. Problem solving in school mathematics. National council of teachers of mathematics; *Year Book*. (Reston: Virginia).
- KUHN TH,S, 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de cultura económica: México).
- LANGEVIN P, 1926. La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22. Diciembre de 1926.
- LARKIN J,H y REIF F, 1979. Understanding and teaching problem solving in Physics. *European Journal of Science Education*, 1 (2), 191-203.
- LEBOUTET L, 1973, *L'enseignement de la Physique*. (PUF: paris)
- LINN M,C, 1987. Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24 (3), 191-216.
- LLORENS J,A, DE JAIME M^ªC y LLOPIS R, 1989. La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 111-119.
- LOPEZ N, LLOPIS R, LLORENS J,A, SALINAS B y SOLER J, 1983. Análisis de dos modelos evaluativos referidos a la Química de COU y Selectividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 21-25.
- MACEDO B y SOUSSAN G, 1985. Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 11 a 15 años, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 83-91.
- MARTINAND J,L, 1985. *Connaitre et transformer la matiere*. (Ed Peter Lang SA: Berna).
- McDERMOTT L,C, 1984. Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*. Julio, 24-34.
- McDERMOTT L,C, 1990. A perspective on teacher preparation in physics - other sciences: the need for special science courses for teachers. *American Journal of Physics*, 58 (8), 734-742.
- M.E.C., 1989, *Diseño Curricular Base. Educación Secundaria Obligatoria* (Ed MEC: Madrid)
- METTES M.A. et al, 1980, teaching and learning problem solving in science. Part I: a general strategy. *Journal of Chemical Education*, 57, 882-885
- MILLAR R y DRIVER R, 1987. Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- MINISTRELL J, 1982. Explaining the «at rest» condition of an object, *Physics Teacher*, 20, 10-14.
- MOREIRA M,A y NOVAK D,P, 1988. Investigación en enseñanza de las ciencias en la universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordajes metodológicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 3-18.
- NIEDA J, 1990. El Diseño Curricular Base. *Cuadernos de Pedagogía*, 180, 8-11.

- NOVAK J.D, 1979, The reception learning paradigm. *Journal of Research in Science Teaching*, 16, 4881-488
- NOVAK J,D, 1988. Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223.
- OSBORNE R y WITTROCK M, 1983. Learning Science: a generative proceess. *Science Education*, 67, pp 490-508.
- OTERO J, 1985. Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7 (4), 361-369.
- OTERO J, 1989. La producción y la comprensión de la ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 223-228.
- PENICK J,E y YAGER R,E, 1986. Trends in science education: some observations of exemplary programs in the United States. *European Journal of Science Education*, 8 (1), 1-9.
- PIAGET J, 1969. *Psicología y Pedagogía*. (Ariel: Barcelona).
- PIAGET J, 1971. *Psicología y Epistemología*. (Ariel: Barcelona).
- PIAGET J, 1970. *La epistemología genética*. (Redondo: Barcelona).
- PORLAN R, 1987. El maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer, conocer para enseñar. *Investigación en la Escuela*, 1, 63-70.
- POSNER G,J et al, 1982. Accomodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- POZO J,I, 1989. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. (Morata: Madrid).
- PREECE P,F, 1984. Intuitive Science: Learned or Triggered?. *European Journal of Science Education*, 6 (1), 7-10.
- RESNICK L,B, 1983, Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, 477-478.
- RIVAS M, 1986. Factores de eficacia esolar: una linea de inves-tigación didáctica. *Bordón*, 264, 693-708.
- ROSENTHAL D,B, 1989. Two approaches to Science - Technology - Society (S-T-S) Education. *Science Education*, 73 (5), 581-589.
- ROSENTHAL R y JACOBSON L, 1968. *Pigmalion in the classroom*. (Rineheart and Winston: New Jersey).
- SATTERLY D y SWAM N, 1988. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 278-284.
- SCHIBECI R,A, 1986. Images of science and scientists and science education. *Science Education*, 70 (2), 139-149.
- SEBASTIA J,M, 1984. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), 161-169.
- SHUELL T,J, 1987. Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education*, 71 (2), 239-250.

- SIMPSON y OLIVER, 1990. A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Educación*, 74 (1), 1-18.
- SOLBES J y VILCHES A, 1989. Interacciones C/T/S: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20.
- SOLOMON J, 1987. Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.
- SOLOMON J, 1990. The discussion of social issues in the science classroom. *Studies in Science Education*, 18, 105-126.
- SPEARS M,G, 1984. Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, vol 6, 369-377.
- TOULMIN S, 1977. *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos* (Alianza: Madrid).
- VARELA P, et al, 1989, Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 292-295.
- VIENNOT L, 1976. *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: París).
- VIENNOT L, 1989. L'enseignement des sciences physiques object de recherche. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 899-910.
- VIENNOT L y KAMINSKY W, 1991, Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves, *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 3-9
- VIGOTSKY L,S, 1973. Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. *Psicología y Pedagogía* (Akal: Madrid).
- WHEATLEY G.H, 1991, Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning, *Science Education*, 75(1), 9-21
- WELCH W, 1985. Research in science education: review and recomendations. *Science Education*, 69, 421-448.
- WHITAKER R,J, 1983. Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, 352-357.
- WHITE T,R y GUNSTONE F,R, 1989. Metalearning and conceptual change. *International Journal Science Education*, vol 11, 577-586.
- YAGER R.E. y KAHLE J.B, 1982, Priorities for needed policies and research in science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 17, 523-530
- YAGER R,E y PENICK J,E, 1983. Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, vol 5, 463-459.

Enseñanza de la Matemática

Miguel de Guzmán Ozámiz
Universidad Complutense de Madrid

TENDENCIAS INNOVADORAS EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA

Miguel de Guzmán

Introducción

Las notas que siguen contienen una serie de observaciones personales sobre algunos aspectos del panorama actual de la educación matemática, que, por diversas razones que intentaré explicar, distan mucho de haber alcanzado una fase de estabilidad. En su conjunto, parece que la educación matemática, por su propia naturaleza, como se indica en la Sección 1, deba ser uno de esos temas complicados que haya de permanecer en constante revisión. En la Sección 2 se presentan unas cuantas reflexiones sobre la situación de cambio en la que actualmente nos encontramos, señalando las razones profundas que nos mueven en la actualidad para desear salir de algunas vías menos deseables en las que la enseñanza matemática se introdujo en un pasado reciente. La Sección 3 se dedica a apuntar algunas tendencias generales que señalan las líneas de trabajo más llamativas en la actualidad. De estas tendencias se derivan de forma natural, por una parte algunos cambios en los principios metodológicos que deberían guiar la enseñanza y aprendizaje de nuestros días, lo que se presenta en la Sección 4, y por otra cambios en los contenidos mismos de nuestra educación, más acordes con las finalidades que hoy se pretenden, tal como queda explicado en la Sección 5. Finalmente la Sección 6 presenta unos pocos proyectos que, a mi parecer, sería deseable que nuestra comunidad matemática fuese realizando para conseguir una educación más sana y eficaz. La bibliografía al final del trabajo remite a unos pocos artículos clave, cuyas bibliografías extensas pueden servir como fuente de información más profunda.

1. ¿Por qué la enseñanza de la matemática es tarea difícil?

La matemática es una actividad vieja y polivalente. A lo largo de los siglos ha sido empleada con objetivos profundamente diversos. Fue un instrumento para la elaboración de vaticinios, entre los sacerdotes de los pueblos mesopotamios. Se consideró como un medio de aproximación a una vida más profundamente humana y como camino de acercamiento a la divinidad, entre los pitagóricos. Fue utilizado como un importante elemento disciplinador del pensamiento, en el Medievo. Ha sido la más versátil e idónea herramienta para la exploración del universo, a partir del Renacimiento. Ha constituido una magnífica guía del pensamiento filosófico, entre los pensadores del racionalismo y filósofos contemporáneos. Ha sido un instrumento de creación de belleza artística, un campo de ejercicio lúdico, entre los matemáticos de todos los tiempos,...

Por otra parte la matemática misma es una ciencia intensamente dinámica y cambiante. De manera rápida y hasta turbulenta en sus propios contenidos. Y aun en su propia concepción profunda, aunque de modo más lento. Todo ello sugiere que, efectivamente, la actividad matemática no puede ser una realidad de abordaje sencillo.

El otro miembro del binomio educación-matemática, no es tampoco nada simple. La educación ha de hacer necesariamente referencia a lo más profundo de la persona, una persona aún por conformar, a la sociedad en evolución en la que esta persona se ha de integrar, a la cultura que en esta sociedad se desarrolla, a los medios concretos personales y materiales de que en el momento se puede o se quiere disponer, a las finalidades prioritarias que a esta educación se le quiera asignar, que pueden ser extraordinariamente variadas,...

La complejidad de la matemática y de la educación sugiere que los teóricos de la educación matemática, y no menos los agentes de ella, deban permanecer constantemente atentos y abiertos a los cambios profundos que en muchos aspectos la dinámica rápidamente mutante de la situación global venga exigiendo.

La educación, como todo sistema complejo, presenta una fuerte resistencia al cambio. Esto no es necesariamente malo. Una razonable persistencia ante las variaciones es la característica de los organismos vivos sanos. Lo malo ocurre cuando esto no se conjuga con una capacidad de adaptación ante la mutabilidad de las circunstancias ambientales.

En la educación matemática a nivel internacional apenas se habrían producido cambios de consideración desde principios de siglo hasta los años 60. A comienzos de siglo había tenido lugar un movimiento de renovación en educación matemática, gracias al interés inicialmente despertado por la prestigiosa figura del gran matemático alemán Felix Klein, con sus proyectos de renovación de la enseñanza media y con sus famosas lecciones sobre Matemática elemental desde un punto de vista superior (1908). En nuestro país ejercieron gran influencia a partir de 1927, por el interés de Rey Pastor, quien publicó, en su Biblioteca Matemática, su traducción al castellano.

En los años 60 surgió un fuerte movimiento de innovación. Se puede afirmar con razón que el empuje de renovación de aquél movimiento, a pesar de todos los desperfectos que ha traído consigo en el panorama educativo internacional, ha tenido con todo la gran virtud de llamar la atención sobre la necesidad de alerta constante sobre la evolución del sistema educativo en matemáticas a todos los niveles. Los cambios introducidos en los años 60 han provocado mareas y contramareas a lo largo de la etapa intermedia. Hoy día, podemos afirmar con toda justificación que seguimos estando en una etapa de profundos cambios.

2. Situación actual de cambio en la didáctica de las matemáticas

Los últimos treinta años han sido escenario de cambios muy profundos en la enseñanza de las matemáticas. Por los esfuerzos que la comunidad internacional de expertos en didáctica sigue realizando por encontrar moldes adecuados está claro que vivimos aún actualmente una situación de experimentación y cambio.

El movimiento de renovación de los años 60 y 70 hacia la «matemática moderna» trajo consigo una honda transformación de la enseñanza, tanto en su talante profundo como en los contenidos nuevos con él introducidos. Entre las principales características del movimiento y los efectos por él producidos se pueden contar los siguientes:

- Se subyugaron las estructuras abstractas en diversas áreas, especialmente en álgebra.

- Se pretendió profundizar en el rigor lógico, en la comprensión, contraponiendo ésta a los aspectos operativos y manipulativos.
- Esto último condujo de forma natural al énfasis en la fundamentación a través de las nociones iniciales de la teoría de conjuntos y en el cultivo del álgebra, donde el rigor es fácilmente alcanzable.
- La geometría elemental y la intuición espacial sufrió un gran detrimento. La geometría es, en efecto, mucho más difícil de fundamentar rigurosamente.
- Con respecto a las actividades fomentadas, la consecuencia natural fue el vaciamiento de problemas interesantes, en los que la geometría elemental tanto abunda, y su sustitución por ejercicios muy cercanos a la mera tautología y reconocimiento de nombres, que es, en buena parte, lo que el álgebra puede ofrecer a este nivel elemental.

En los años 70 se empezó a percibir que muchos de los cambios introducidos no habían resultado muy acertados. Con la sustitución de la geometría por el álgebra la matemática elemental se vació rápidamente de contenidos y de problemas interesantes. La patente carencia de intuición espacial fue otra de las desastrosas consecuencias del alejamiento de la geometría de nuestros programas, defecto que hoy se puede percibir muy claramente en las personas que realizaron su formación en aquellos años. Se puede decir que los inconvenientes surgidos con la introducción de la llamada «matemática moderna» superaron con mucho las cuestionables ventajas que se había pensado conseguir como el rigor en la fundamentación, la comprensión de las estructuras matemáticas, la modernidad y el acercamiento a la matemática contemporánea...

Los años 70 y 80 han presentado una discusión, en muchos casos vehemente y apasionada, sobre los valores y contravalores de las tendencias presentes, y luego una búsqueda intensa de formas más adecuadas de afrontar los nuevos retos de la enseñanza matemática por parte de la comunidad matemática internacional.

A continuación quisiera dirigir mi atención sucesivamente sobre los aspectos más interesantes, a mi parecer, de esta búsqueda y de algunas respuestas parciales que van surgiendo en el panorama educativo de la matemática.

3. Tendencias Generales Actuales

3.1. Una consideración de fondo. ¿Qué es la actividad matemática?

La filosofía prevalente sobre lo que la actividad matemática representa tiene un fuerte influjo, más efectivo a veces de lo que aparenta, sobre las actitudes profundas respecto de la enseñanza matemática. La reforma hacia la «matemática moderna» tuvo lugar en pleno auge de la corriente formalista (Bourbaki) en matemáticas. No es aventurado pensar a priori en una relación causa-efecto y, de hecho, alguna de las personas especialmente influyentes en el movimiento didáctico, como Dieudonné, fueron importantes miembros del grupo Bourbaki. En los últimos quince años, especialmente a partir de la publicación de la tesis doctoral de I. Lakatos (1976), *Proofs and refutations*, se han producido cambios bastante profundos en el campo de las ideas acerca de lo que verdaderamente es el quehacer matemático.

La actividad científica en general es una exploración de ciertas estructuras de la realidad, entendida ésta en sentido amplio, como realidad física o mental. La actividad matemática se enfrenta con un cierto tipo de estructuras que se prestan a unos modos peculiares de tratamiento, que incluyen:

- a) una simbolización adecuada, que permite presentar eficazmente, desde el punto de vista operativo, las entidades que maneja
- b) una manipulación racional rigurosa, que compele al asenso de aquellos que se adhieren a las convenciones iniciales de partida
- c) un dominio efectivo de la realidad a la que se dirige, primero racional, del modelo mental que se construye, y luego, si se pretende, de la realidad exterior modelada

La antigua definición de la matemática como ciencia del número y de la extensión, no es incompatible en absoluto con la aquí propuesta, sino que corresponde a un estadio de la matemática en que el enfrentamiento con la realidad se había plasmado en dos aspectos fundamentales, la complejidad proveniente de la multiplicidad (lo que da origen al número, a la aritmética) y la complejidad que procede del espacio (lo que da lugar a la geometría, estudio de la extensión). Más adelante el mismo espíritu matemático se habría de enfrentar con:

- la complejidad del símbolo (álgebra)
- la complejidad del cambio y de la causalidad determinística (cálculo)
- la complejidad proveniente de la incertidumbre en la causalidad múltiple incontrolable (probabilidad, estadística)
- complejidad de la estructura formal del pensamiento (lógica matemática)...

La filosofía de la matemática actual ha dejado de preocuparse tan insistentemente como en la primera mitad del siglo sobre los problemas de fundamentación de la matemática, especialmente tras los resultados de Gödel a comienzos de los años 30, para enfocar su atención en el carácter cuasiempírico de la actividad matemática (I. Lakatos), así como en los aspectos relativos a la historicidad e inmersión de la matemática en la cultura de la sociedad en la que se origina (R. L. Wilder), considerando la matemática como un subsistema cultural con características en gran parte comunes a otros sistemas semejantes. Tales cambios en lo hondo del entender y del sentir mismo de los matemáticos sobre su propio quehacer vienen provocando, de forma más o menos consciente, fluctuaciones importantes en las consideraciones sobre lo que la enseñanza matemática debe ser.

3.2. La educación matemática como proceso de «inculturación».

La educación matemática se debe concebir como un proceso de inmersión en las formas propias de proceder del ambiente matemático, a la manera como el aprendiz de artista va siendo imbuido, como por ósmosis, en la forma peculiar de ver las cosas característica de la escuela en la que se entronca. Como vamos a ver enseguida, esta idea tiene profundas repercusiones en la manera de enfocar la enseñanza y aprendizaje de la matemática.

3.3. Continuo apoyo en la intuición directa de lo concreto. Apoyo permanente en lo real.

En los años 80 hubo un reconocimiento general de que se había exagerado considerablemente en las tendencias hacia la «matemática» moderna en lo que respecta al énfasis en la estructura abstracta de la matemática. Es necesario cuidar y cultivar la intuición en general, la manipulación operativa del espacio y de los mismos símbolos. Es preciso no abandonar la comprensión e inteligencia de lo que se hace, por supuesto, pero no debemos permitir que este esfuerzo por entender deje pasar a segundo plano los contenidos intuitivos de nuestra mente en su acercamiento a los objetos matemáticos. Si la matemática es una ciencia que participa mucho más de lo que hasta ahora se pensaba del carácter de empírica, sobre todo en su invención, que es mucho más interesante que su construcción formal, es necesario que la inmersión en ella se realice teniendo en cuenta mucho más intensamente la experiencia y la manipulación de los objetos de los que surge. La formalización rigurosa de las experiencias iniciales corresponde a un estadio posterior. A cada fase de desarrollo mental, como a cada etapa histórica o a cada nivel científico, le corresponde su propio rigor.

Para entender esta interacción fecunda entre la realidad y la matemática es necesario acudir, por una parte, a la propia historia de la matemática, que nos desvela ese proceso de emergencia de nuestra matemática en el tiempo, y por otra parte, a las aplicaciones de la matemática, que nos hacen patentes la fecundidad y potencia de esta ciencia. Con ello se hace obvio cómo la matemática ha procedido de forma muy semejante a las otras ciencias, por aproximaciones sucesivas, por experimentos, por tentativas, unas veces fructuosas, otras estériles, hasta que va alcanzando una forma más madura, aunque siempre perfectible. Nuestra enseñanza ideal debería tratar de reflejar este carácter profundamente humano de la matemática, ganando con ello en asequibilidad, dinamismo, interés y atractivo.

3.4. Los procesos del pensamiento matemático. El centro de la educación matemática.

Una de las tendencias generales más difundidas hoy consiste en el hincapié en la transmisión de los procesos de pensamiento propios de la matemática más bien que en la mera transferencia de contenidos. La matemática es, sobre todo, saber hacer, es una ciencia en la que el método claramente predomina sobre el contenido. Por ello se concede una gran importancia al estudio de las cuestiones, en buena parte colindantes con la psicología cognitiva, que se refieren a los procesos mentales de resolución de problemas.

Por otra parte, existe la conciencia, cada vez más acusada, de la rapidez con la que, por razones muy diversas, se va haciendo necesario traspasar la prioridad de la enseñanza de unos contenidos a otros. En la situación de transformación vertiginosa de la civilización en la que nos encontramos, es claro que los procesos verdaderamente eficaces de pensamiento, que no se vuelven obsoletos con tanta rapidez, es lo más valioso que podemos proporcionar a nuestros jóvenes. En nuestro mundo científico e intelectual tan rápidamente mutante vale mucho más hacer acopio de procesos de pensamiento útiles que de contenidos que rápidamente se convierten en lo que Whitehead llamó «ideas inertes», ideas que forman un pesado lastre, que no son capaces de combinarse con otras para formar constelaciones

dinámicas, capaces de abordar los problemas del presente.

En esta dirección se encauzan los intensos esfuerzos por transmitir estrategias heurísticas adecuadas para la resolución de problemas en general, por estimular la resolución autónoma de verdaderos problemas, más bien que la mera transmisión de recetas adecuadas en cada materia.

3.5. Los impactos de la nueva tecnología.

La aparición de herramientas tan poderosas como la calculadora y el ordenador actuales está comenzando a influir fuertemente en los intentos por orientar nuestra educación matemática primaria y secundaria adecuadamente, de forma que se aprovechen al máximo de tales instrumentos. Es claro que, por diversas circunstancias tales como coste, inercia, novedad, impreparación de profesores, hostilidad de algunos,... aún no se ha logrado encontrar moldes plenamente satisfactorios. Este es uno de los retos importantes del momento presente. Ya desde ahora se puede presentir que nuestra forma de enseñanza y sus mismos contenidos tienen que experimentar drásticas reformas. El acento habrá que ponerlo, también por esta razón, en la comprensión de los procesos matemáticos más bien que en la ejecución de ciertas rutinas que en nuestra situación actual, ocupan todavía gran parte de la energía de nuestros alumnos, con el consiguiente sentimiento de esterilidad del tiempo que en ello emplean. Lo verdaderamente importante vendrá a ser su preparación para el diálogo inteligente con las herramientas que ya existen, de las que algunos ya disponen y otros van a disponer en un futuro que ya casi es presente.

3.6. Conciencia de la importancia de la motivación.

Una preocupación general que se observa en el ambiente conduce a la búsqueda de la motivación del alumno desde un punto de vista más amplio, que no se limite al posible interés intrínseco de la matemática y de sus aplicaciones. Se trata de hacer patentes los impactos mutuos que la evolución de la cultura, la historia, los desarrollos de la sociedad, por una parte, y la matemática, por otra, se han proporcionado.

Cada vez va siendo más patente la enorme importancia que los elementos afectivos que involucran a toda la persona pueden tener incluso en la vida de la mente en su ocupación con la matemática. Es claro que una gran parte de los fracasos matemáticos de muchos de nuestros estudiantes tienen su origen en un posicionamiento inicial afectivo totalmente destructivo de sus propias potencialidades en este campo, que es provocado, en muchos casos, por la inadecuada introducción por parte de sus maestros. Por eso se intenta también, a través de diversos medios, que los estudiantes perciban el sentimiento estético, el placer lúdico que la matemática es capaz de proporcionar, a fin de involucrarlos en ella de un modo más hondamente personal y humano.

En nuestro ambiente contemporáneo, con una fuerte tendencia hacia la deshumanización de la ciencia, a la despersonalización producida por nuestra cultura computarizada, es cada vez más necesario un saber humanizado en que el hombre y la máquina ocupen cada uno el lugar que le corresponde. La educación matemática adecuada puede contribuir eficazmente en esta importante tarea.

4. Cambios en los principios metodológicos aconsejables

A la vista de estas tendencias generales apuntadas en la sección anterior se pueden señalar unos cuantos principios metodológicos que podrían guiar apropiadamente nuestra enseñanza.

4.1. Hacia la adquisición de los procesos típicos del pensamiento matemático. La inculcación a través del aprendizaje activo.

¿Cómo debería tener lugar el proceso de aprendizaje matemático a cualquier nivel? De una forma semejante a la que el hombre ha seguido en su creación de las ideas matemáticas, de modo parecido al que el matemático activo utiliza al enfrentarse con el problema de matematización de la parcela de la realidad de la que se ocupa.

Se trata, en primer lugar, de ponernos en contacto con la realidad matematizable que ha dado lugar a los conceptos matemáticos que queremos explorar con nuestros alumnos. Para ello deberíamos conocer a fondo el contexto histórico que enmarca estos conceptos adecuadamente. ¿Por qué razones la comunidad matemática se ocupó con ahínco en un cierto momento de este tema y lo hizo el verdadero centro de su exploración tal vez por un período de siglos? Es extraordinariamente útil tratar de mirar la situación con la que ellos se enfrentaron con la mirada perpleja con que la contemplaron inicialmente. La visión del tema que se nos brinda en muchos de nuestros libros de texto se parece en demasiadas ocasiones a una novela policiaca que aparece ya destripada desde el principio por haber comenzado contando el final. Contada de otra forma más razonable podría ser verdaderamente apasionante.

Normalmente la historia nos proporciona una magnífica guía para enmarcar los diferentes temas, los problemas de los que han surgido los conceptos importantes de la materia, nos da luces para entender la razón que ha conducido al hombre para ocuparse de ellos con interés. Si conocemos la evolución de las ideas de las que pretendemos ocuparnos, sabremos perfectamente el lugar que ocupan en las distintas consecuencias, aplicaciones interesantes que de ellas han podido surgir, la situación reciente de las teorías que de ellas han derivado,...

En otras ocasiones el acercamiento inicial se puede hacer a través del intento directo de una modelización de la realidad en la que el profesor sabe que han de aparecer las estructuras matemáticas en cuestión. Se pueden acudir para ello a las otras ciencias que hacen uso de las matemáticas, a circunstancias de la realidad cotidiana o bien a la presentación de juegos tratables matemáticamente, de los que en más de una ocasión a lo largo de la historia han surgido ideas matemáticas de gran profundidad, como veremos más adelante.

Puestos con nuestros estudiantes delante de las situaciones-problema en las que tuvo lugar la gestación de las ideas con las que queremos ocuparnos, deberemos tratar de estimular su búsqueda autónoma, su propio descubrimiento paulatino de estructuras matemáticas sencillas, de problemas interesantes relacionados con tales situaciones que surgen de modo natural.

Es claro que no podemos esperar que nuestros alumnos descubran en un par de semanas lo que la humanidad elaboró tal vez a lo largo de varios siglos de trabajo intenso de mentes muy brillantes. Pero es cierto que la búsqueda con guía,

sin aniquilar el placer de descubrir, es un objetivo alcanzable en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, así como la detección de técnicas concretas, de estrategias útiles de pensamiento en el campo en cuestión y de su transmisión a los estudiantes.

La teoría, así concebida, resulta llena de sentido, plenamente motivada y mucho más fácilmente asimilable. Su aplicación a la resolución de los problemas, que en un principio aparecían como objetivos inalcanzables, puede llegar a ser una verdadera fuente de satisfacción y placer intelectual, de asombro ante el poder del pensamiento matemático eficaz y de una fuerte atracción hacia la matemática.

4.2. Sobre el papel de la historia en el proceso de formación del matemático.

A mi parecer, un cierto conocimiento de la historia de la matemática, debería formar parte indispensable del bagaje de conocimientos del matemático en general y del profesor de cualquier nivel, primario, secundario o terciario, en particular. Y, en el caso de este último, no sólo con la intención de que lo pueda utilizar como instrumento en su propia enseñanza, sino primariamente porque la historia le puede proporcionar una visión verdaderamente humana de la ciencia y de la matemática, de lo cual suele estar también el matemático muy necesitado.

La visión histórica transforma meros hechos y destrezas sin alma en porciones de conocimiento buscadas ansiosamente y en muchas ocasiones con genuina pasión por hombres de carne y hueso que se alegraron inmensamente cuando por primera vez dieron con ellas. Cuántos de esos teoremas, que en nuestros días de estudiantes nos han aparecido como verdades que salen de la oscuridad y se dirigen hacia la nada, han cambiado de aspecto para nosotros al adquirir un perfecto sentido dentro de la teoría, después de haberla estudiado más a fondo, incluido su contexto histórico y biográfico.

La perspectiva histórica nos acerca a la matemática como ciencia humana, no endiosada, a veces penosamente reptante y en ocasiones falible, pero capaz también de corregir sus errores. Nos aproxima a las interesantes personalidades de los hombres que han ayudado a impulsarlas a lo largo de muchos siglos, por motivaciones muy distintas.

Desde el punto de vista del conocimiento más profundo de la propia matemática la historia nos proporciona un cuadro en el que los elementos aparecen en su verdadera perspectiva, lo que redundará en un gran enriquecimiento tanto para el matemático técnico, como para el que enseña. Si cada porción de conocimiento matemático de nuestros libros de texto llevara escrito el número de un siglo al que se le pudiera asignar con alguna aproximación, veríamos saltar locamente los números, a veces dentro de la misma página o del mismo párrafo. Conjuntos, números naturales, sistemas de numeración, números racionales, reales, complejos,... decenas de siglos de distancia hacia atrás, hacia adelante, otra vez hacia atrás, vertiginosamente. No se trata de que tengamos que hacer conscientes a nuestros alumnos de tal circunstancia. El orden lógico no es necesariamente el orden histórico, ni tampoco el orden didáctico coincide con ninguno de los dos. Pero el profesor debería saber cómo han ocurrido las cosas, para:

- comprender mejor las dificultades del hombre genérico, de la humanidad, en la elaboración de las ideas matemáticas, y a través de ello las de sus propios

alumnos

- entender mejor la ilación de las ideas, de los motivos y variaciones de la sinfonía matemática
- utilizar este saber como una sana guía para su propia pedagogía.

El conocimiento de la historia proporciona una visión dinámica de la evolución de la matemática. Se puede barruntar la motivación de las ideas y desarrollos en el inicio. Ahí es donde se pueden buscar las ideas originales en toda su sencillez y originalidad, todavía con su sentido de aventura, que muchas veces se hace desaparecer en los textos secundarios. Como dice muy acertadamente O. Toeplitz: «Con respecto a todos los temas básicos del cálculo infinitesimal... teorema del valor medio, serie de Taylor,...nunca se suscita la cuestión ¿Por qué así precisamente? o ¿Cómo se llegó a ello? Y sin embargo todas estas cuestiones han tenido que ser en algún tiempo objetivos de una intensa búsqueda, respuestas a preguntas candentes...Si volviéramos a los orígenes de estas ideas, perderían esa apariencia de muerte y de hechos disecados y volverían a tomar una vida fresca y pujante».

Tal visión dinámica nos capacitaría para muchas tareas interesantes en nuestro trabajo educativo:

- posibilidad de extrapolación hacia el futuro
- inmersión creativa en las dificultades del pasado
- comprobación de lo tortuoso de los caminos de la invención, con la percepción de la ambigüedad, obscuridad, confusión iniciales, a media luz, esculpiendo torsos inconclusos...

Por otra parte el conocimiento de la historia de la matemática y de la biografía de sus creadores más importantes nos hace plenamente conscientes del carácter profundamente histórico, es decir, dependiente del momento y de las circunstancias sociales, ambientales, prejuicios del momento,... así como de los mutuos y fuertes impactos que la cultura en general, la filosofía, la matemática, la tecnología, las diversas ciencias han ejercido unas sobre otras. Aspecto este último del que los mismos matemáticos enfrascados en su quehacer técnico no suelen ser muy conscientes, por la forma misma en que la matemática suele ser presentada, como si fuera inmune a los avatares de la historia.

Desgraciadamente, tanto para el estudiante que desea sumergirse en la investigación matemática como para el que quiere dedicarse a sus aplicaciones o a la enseñanza, la historia de la matemática suele estar totalmente ausente de la formación universitaria en nuestro país. A mi parecer sería extraordinariamente conveniente que las diversas materias que enseñamos se beneficiaran de la visión histórica, como he dicho arriba, y que a todos nuestros estudiantes se les proporcionara siquiera un breve panorama global del desarrollo histórico de la ciencia que les va a ocupar toda su vida. Mientras llega una situación razonable yo me atrevería a aconsejar:

- la lectura atenta de algunos de los numerosos y excelentes tratados de historia que van apareciendo en castellano (Boyer, Kline, Colette, Grattan-Guinness...)

- acudir, para los temas del interés particular de cada uno, a las fuentes originales, especialmente de los clásicos
- leer las biografías de los grandes matemáticos, al menos en la forma sucinta en que aparecen en el Dictionary of Scientific Biography

4.3. Sobre la utilización de la historia en la educación matemática.

El valor del conocimiento histórico no consiste en tener una batería de historietas y anécdotas curiosas para entretener a nuestros alumnos a fin de hacer un alto en el camino.

La historia se puede y se debe utilizar, por ejemplo, para entender y hacer comprender una idea difícil del modo más adecuado. Quien no tenga la más mínima idea de las vueltas y revueltas que el pensamiento matemático ha recorrido hasta dar, pongamos por caso, con la noción rigurosamente formalizada del número complejo, se sentirá tal vez justificado para introducir en su enseñanza los números complejos como «el conjunto de los pares de números reales entre los cuales se establecen las siguientes operaciones...». Quien sepa que ni Euler ni Gauss, con ser quienes eran, llegaron a dar ese rigor a los números complejos y que a pesar de ello pudieron hacer cosas maravillosas relacionadas con ellos, se preguntará muy seriamente acerca de la conveniencia de tratar de introducir los complejos en la estructura cristalizada antinatural y difícil de tragar, que sólo después de varios siglos de trabajo llegaron a tener.

Los diferentes métodos del pensamiento matemático, tales como la inducción, el pensamiento algebraico, la geometría analítica, el cálculo infinitesimal, la topología, la probabilidad,... han surgido en circunstancias históricas muy interesantes y muy peculiares, frecuentemente en la mente de pensadores muy singulares, cuyos méritos, no ya por justicia, sino por ejemplaridad, es muy útil resaltar.

La historia debería ser un potente auxiliar para objetivos tales como:

- hacer patente la forma peculiar de aparecer las ideas en matemáticas
- enmarcar temporalmente y espacialmente las grandes ideas, problemas, junto con su motivación, precedentes,...
- señalar los problemas abiertos de cada época, su evolución, la situación en la que se encuentran actualmente,...
- apuntar las conexiones históricas de la matemática con otras ciencias, en cuya interacción han surgido tradicionalmente gran cantidad de ideas importantes.

4.4. La heurística («problem solving») en la enseñanza de la matemática.

La enseñanza a través de la resolución de problemas es actualmente el método más invocado para poner en práctica el principio general de aprendizaje activo y de inculcación mencionado en el punto 4.1. Lo que en el fondo se persigue con ella es transmitir en lo posible de una manera sistemática los procesos de pensamiento eficaces en la resolución de verdaderos problemas.

Tengo un verdadero problema cuando me encuentro en una situación desde la que quiero llegar a otra, unas veces bien conocida otras un tanto confusamen-

te perfilada, y no conozco el camino que me puede llevar de una a otra. Nuestros libros de texto están, por lo general, repletos de meros ejercicios y carentes de verdaderos problemas. La apariencia exterior puede ser engañosa. También en un ejercicio se expone una situación y se pide que se llegue a otra: Escribir el coeficiente de x^7 en el desarrollo de $(1+x)^{32}$.

Pero si esta actividad, que fue un verdadero problema para los algebristas del siglo XVI, se encuentra, como suele suceder, al final de una sección sobre el binomio de Newton, no constituye ya ningún reto notable. El alumno tiene los caminos bien marcados. Si no es capaz de resolver un problema semejante, ya sabe que lo que tiene que hacer es aprenderse la lección primero.

La enseñanza por resolución de problemas pone el énfasis en los procesos de pensamiento, en los procesos de aprendizaje y toma los contenidos matemáticos, cuyo valor no se debe en absoluto dejar a un lado, como campo de operaciones privilegiado para la tarea de hacerse con formas de pensamiento eficaces.

Se trata de considerar como lo más importante:

- que el alumno manipule los objetos matemáticos
- que active su propia capacidad mental
- que ejercite su creatividad
- que reflexione sobre su propio proceso de pensamiento a fin de mejorarlo conscientemente
- que, a ser posible, haga transferencias de estas actividades a otros aspectos de su trabajo mental
- que adquiera confianza en sí mismo
- que se divierta con su propia actividad mental
- que se prepare así para otros problemas de la ciencia y, posiblemente, de su vida cotidiana
- que se prepare para los nuevos retos de la tecnología y de la ciencia.

Cuáles son las ventajas de este tipo de enseñanza? Por qué esforzarse para conseguir tales objetivos? He aquí unas cuantas razones interesantes:

- porque es lo mejor que podemos proporcionar a nuestro jóvenes: capacidad autónoma para resolver sus propios problemas
- porque el mundo evoluciona muy rápidamente: los procesos efectivos de adaptación a los cambios de nuestra ciencia y de nuestra cultura no se hacen obsoletos
- porque el trabajo se puede hacer atrayente, divertido, satisfactorio, autorrealizador y creativo
- porque muchos de los hábitos que así se consolidan tienen un valor universal, no limitado al mundo de las matemáticas
- porque es aplicable a todas las edades.

¿En qué consiste la novedad? No se ha enseñado siempre a resolver problemas en nuestras clase de matemáticas? Posiblemente los buenos profesores de todos los tiempos han utilizado de forma espontánea los métodos que ahora se propugnan. Pero lo que tradicionalmente se ha venido haciendo por una buena parte de nuestros profesores se puede resumir en las siguientes fases:

exposición de contenidos — ejemplos — ejercicios sencillos — ejercicios más complicados — ¿problema?

La forma de presentación de un tema matemático basada en el espíritu de la resolución de problemas debería proceder más o menos del siguiente modo:

propuesta de la situación problema de la que surge el tema (basada en la historia, aplicaciones, modelos, juegos...) — manipulación autónoma por los estudiantes — familiarización con la situación y sus dificultades — elaboración de estrategias posibles — ensayos diversos por los estudiantes — herramientas elaboradas a lo largo de la historia (contenidos motivados) — elección de estrategias — ataque y resolución de los problemas — recorrido crítico (reflexión sobre el proceso) — afianzamiento formalizado (si conviene) — generalización — nuevos problemas — posibles transferencias de resultados, de métodos, de ideas,...

En todo el proceso el eje principal ha de ser la propia actividad dirigida con tino por el profesor, colocando al alumno en situación de participar, sin aniquilar el placer de ir descubriendo por sí mismo lo que los grandes matemáticos han logrado con tanto esfuerzo. Las ventajas del procedimiento bien llevado son claras: actividad contra pasividad, motivación contra aburrimiento, adquisición de procesos válidos contra rígidas rutinas inmotivadas que se pierden en el olvido....

En mi opinión el método de enseñanza por resolución de problemas presenta algunas dificultades que no parecen aún satisfactoriamente resueltas en la mente de algunos profesores y mucho menos en la forma práctica de llevarlo a cabo. Se trata de armonizar adecuadamente las dos componentes que lo integran, la componente heurística, es decir la atención a los procesos de pensamiento y los contenidos específicos del pensamiento matemático.

A mi parecer existe en la literatura actual una buena cantidad de obras excelentes cuya atención primordial se centra en los aspectos heurísticos, puestos en práctica sobre contextos diversos, unos más puramente lúdicos, otros con sabor más matemático. Algunas de estas obras cumplen a la perfección, en mi opinión, su cometido de transmitir el espíritu propio de la actitud de resolución de problemas y de confirmar en quien se adentra en ellas las actitudes adecuadas para la ocupación con este tipo de actividad. Sin embargo creo que aún no han surgido intentos serios y sostenidos por producir obras que efectivamente apliquen el espíritu de la resolución de problemas a la transmisión de aquellos contenidos de la matemática de los diversos niveles que en la actualidad pensamos que deben estar presentes en nuestra educación.

Lo que suele suceder a aquellos profesores genuinamente convencidos de la bondad de los objetivos relativos a la transmisión de los procesos de pensamiento es que viven una especie de esquizofrenia, tal vez por falta de modelos adecuados, entre los dos polos alrededor de los que gira su enseñanza, los contenidos y los procesos. Los viernes ponen el énfasis en los procesos de pensamiento, alrede-

dor de situaciones que nada tienen que ver con los programas de su materia, y los demás días de la semana se dedican con sus alumnos a machacar bien los contenidos que hay que cubrir, sin acordarse para nada de lo que el viernes pasado practicaron. Sería muy necesario que surgieran modelos, aunque fueran parciales, que integraran en un todo armonioso ambos aspectos de nuestra educación matemática.

De todos modos, probablemente se puede afirmar que quien está plenamente imbuído en ese espíritu de la resolución de problemas se enfrenta de una manera mucho más adecuada a la tarea de transmitir competentemente los contenidos de su programa. Por ello considero importante trazar, aunque sea someramente, las líneas de trabajo que se pueden seguir a fin de conseguir una eficaz preparación en el tema.

4.5. Sobre la preparación necesaria para la enseñanza de la matemática a través de la resolución de problemas.

La preparación para este tipo de enseñanza requiere una inmersión personal, seria y profunda. No se trata meramente de saber unos cuantos trucos superficiales, sino de adquirir unas nuevas actitudes que calen y se vivan profundamente.

A mi parecer esta tarea se realiza más efectivamente mediante la formación de pequeños grupos de trabajo. El trabajo en grupo en este tema tiene una serie de ventajas importantes:

- proporciona la posibilidad de un gran enriquecimiento, al permitirnos percibir las distintas formas de afrontar una misma situación-problema
- se puede aplicar el método desde diferentes perspectivas, unas veces en el papel de moderador del grupo, otras en el de observador de su dinámica
- el grupo proporciona apoyo y estímulo en una labor que de otra manera puede resultar dura, por su complejidad y por la constancia que requiere
- el trabajo con otros nos da la posibilidad de contrastar los progresos que el método es capaz de producir en uno mismo y en otros
- el trabajo en grupo proporciona la posibilidad de prepararse mejor para ayudar a nuestros estudiantes en una labor semejante con mayor conocimiento de los resortes que funcionan en diferentes circunstancias y personas.

Algunos de los aspectos que es preciso atender en la práctica inicial adecuada son los siguientes:

- exploración de los diferentes bloqueos que actúan en cada uno de nosotros, a fin de conseguir una actitud sana y agradable frente a la tarea de resolución de problemas
- práctica de los diferentes métodos y técnicas concretas de desbloqueo
- exploración de las aptitudes y defectos propios más característicos, con la elaboración de una especie de autorretrato heurístico
- ejercicio de diferentes métodos y alternativas
- práctica sostenida de resolución de problemas con la elaboración de sus protocolos y su análisis en profundidad

4.6. Diseño de una reunión de trabajo en grupo.

Me parece que puede resultar útil en este punto sugerir un posible diseño para una reunión de trabajo en grupo según un esquema que yo mismo he practicado en diferentes ocasiones con provecho razonable.

Un equipo de trabajo puede constar de cinco o seis personas. Se podrían reunir una vez por semana durante un buen período, como de un año. Una sesión típica puede durar una hora y media. La sesión tiene dos partes bien diferenciadas, siendo la segunda la verdaderamente importante. La primera parte tiene por objeto ir ampliando el panorama de conocimientos teórico-prácticos del grupo.

Primera parte (media hora). Uno de los miembros del equipo ha preparado mediante lecturas adecuadas un tema bien concreto de naturaleza teórico-práctica, que podría consistir, por ejemplo en el estudio de los bloqueos mentales de naturaleza afectiva. Lo expone en 20 minutos y se establece un período de discusión, comentarios, preguntas, aclaraciones, de 10 minutos.

Segunda parte (una hora). Una de las personas del grupo va a actuar en esta segunda parte como secretario, observador y seleccionador de problemas. Otra de ellas actuará como moderador. Los papeles de los componentes del grupo serán desempeñados por turno en diferentes reuniones.

El secretario para esta reunión ha elegido con anterioridad unos cuatro o cinco problemas que propone al resto. Es conveniente que sean verdaderos problemas, pero que al mismo tiempo no excedan la capacidad del grupo de resolverlos en un tiempo sensato. Es conveniente que el mismo secretario se haya familiarizado con las formas de resolver los problemas, pues aunque durante el proceso tendrá que actuar meramente como observador, al final deberá él mismo iluminar y complementar los resultados alcanzados por el grupo.

Hay que recalcar que la finalidad principal de la actividad que el grupo va a realizar puede quedar perfectamente cumplida aunque los problemas no se resuelvan. Es muy conveniente, sin embargo, desde el punto de vista de la motivación, que los problemas elegidos, por una parte, constituyan un verdadero reto, pero que al mismo tiempo sean susceptibles de solución por el grupo.

La misión del secretario-observador, aparte de la elección de los problemas, consiste en observar e ir anotando los puntos más importantes del camino que sigue el resto del grupo en busca de la solución del problema. El es el encargado de realizar el protocolo del proceso y sus observaciones y notas han de ayudar muy sustancialmente para la reflexión final que ha de seguir a esta etapa de trabajo. En general, permanecer en silencio, cosa nada fácil de llevar a cabo, pero parece conveniente que intervenga en alguna ocasión, si es necesario, por ejemplo para preguntar sobre el origen de una nueva idea de algún componente del grupo, que probablemente se alejaría de su memoria si se espera al período de reflexión al final del proceso.

Como antes ha quedado dicho, de los otros cuatro o cinco componentes del grupo uno actúa como moderador para esta reunión de trabajo. Los papeles de ponente, secretario y moderador van rotando en cada sesión. La forma de proceder del grupo hacia la resolución del problema puede ser muy variada y sería conveniente experimentar diferentes esquemas para que cada grupo elija el que mejor se

le adapta.

Lo verdaderamente importante es que se cree una atmósfera en el grupo libre de inhibiciones, libre de competitividad, en que cada uno est deseoso de aportar sin imponer, abierto a aceptar incluso lo que a primera vista pueda parecer más estrafalario, colaborando gustosamente para mejorar las ideas iniciadas por los otros y viendo con gusto cómo los otros van perfeccionando las ideas propuestas por l. La tarea esencial del moderador es precisamente mantener permanentemente este clima, estimulando, si hace falta, la aportación del que tiende a callar demasiado e inhibiendo con suavidad la del que tiende a hablar en exceso, animando cuando el grupo parece quedarse pegado, tratando de abrir nuevas vías cuando todo parece cerrado...

El esquema concreto de trabajo puede tener lugar según estas cuatro fases que pueden servir como marco muy general:

- El grupo se familiariza con el problema.
- En busca de estrategias posibles.
- El grupo selecciona y lleva adelante las estrategias que parecen más adecuadas.
- El grupo reflexiona sobre el proceso que ha seguido.

En la bibliografía al final de estas notas se pueden encontrar varios lugares en los que he tratado de proporcionar una descripción más detallada de esta forma de proceder.

4.7. Modelización y aplicaciones en la educación matemática.

Existe en la actualidad una fuerte corriente en educación matemática que sostiene con fuerza la necesidad de que el aprendizaje de las matemáticas no se realice explorando las construcciones matemáticas en sí mismas, en las diferentes formas en que han cristalizado a lo largo de los siglos, sino en continuo contacto con las situaciones del mundo real que les dieron y les siguen dando su motivación y vitalidad.

Tal corriente está en plena consonancia con las ideas antes desarrolladas y parece como un corolario natural de ellas. La matemática, como hemos visto, se origina como un intento por explorar, en su peculiar modo, las diferentes estructuras complejas que se prestan a ello. La creación del matemático se realiza espontáneamente en este intento por dominar aspectos matematizables de la realidad. La educación matemática debería tener por finalidad principal la inculturación, tratando de incorporar en ese espíritu matemático a los más jóvenes de nuestra sociedad.

Parece obvio que si nos limitáramos en nuestra educación a una mera presentación de los resultados que constituyen el edificio puramente teórico que se ha desarrollado en tal intento, dejando a un lado sus orígenes en los problemas que la realidad presenta y sus aplicaciones para resolver tales problemas, estaríamos ocultando una parte muy interesante y substancial de lo que la matemática verdaderamente es. Aparte de que estaríamos con ello prescindiendo del gran poder motivador que la modelización y las aplicaciones poseen.

4.8. El papel del juego en la educación matemática.

La actividad matemática ha tenido desde siempre una componente lúdica que ha sido la que ha dado lugar a una buena parte de las creaciones más interesantes que en ella han surgido.

El juego, tal como el sociólogo J. Huizinga lo analiza en su obra *Homo ludens*, presenta unas cuantas características peculiares:

- es una actividad libre, en el sentido de la *paideia* griega, es decir, una actividad que se ejercita por sí misma, no por el provecho que de ella se pueda derivar
- tiene una cierta función en el desarrollo del hombre; el cachorro humano, como el animal, juega y se prepara con ello para la vida; también el hombre adulto juega y al hacerlo experimenta un sentido de liberación, de evasión, de relajación
- el juego no es broma; el peor revientajuegos es el que no se toma en serio su juego
- el juego, como la obra de arte, produce placer a través de su contemplación y de su ejecución
- el juego se ejercita separado de la vida ordinaria en el tiempo y en el espacio
- existen ciertos elementos de tensión en él, cuya liberación y catarsis causan gran placer
- el juego da origen a lazos especiales entre quienes lo practican
- a través de sus reglas el juego crea un nuevo orden, una nueva vida, llena de ritmo y armonía.

Un breve análisis de lo que representa la actividad matemática basta para permitirnos comprobar que muchos de estos rasgos están bien presentes en ella. La matemática, por su naturaleza misma, es también juego, si bien este juego implica otros aspectos, como el científico, instrumental, filosófico, que juntos hacen de la actividad matemática uno de los verdaderos ejes de nuestra cultura.

Si el juego y la matemática, en su propia naturaleza, tienen tantos rasgos comunes, no es menos cierto que también participan de las mismas características en lo que respecta a su propia práctica. Esto es especialmente interesante cuando nos preguntamos por los métodos más adecuados para transmitir a nuestros alumnos el profundo interés y el entusiasmo que las matemáticas pueden generar y para proporcionar una primera familiarización con los procesos usuales de la actividad matemática.

Un juego comienza con la introducción de una serie de reglas, un cierto número de objetos o piezas, cuya función en el juego viene definida por tales reglas, exactamente de la misma forma en que se puede proceder en el establecimiento de una teoría matemática por definición implícita: «Se nos dan tres sistemas de objetos. Los del primer sistema los llamaremos puntos, los del segundo rectas,...» (Hilbert, *Grudlagen der Geometrie*)

Quien se introduce en la práctica de un juego debe adquirir una cierta familiarización con sus reglas, relacionando unas piezas con otras al modo como el

novicio en matemáticas compara y hace interactuar los primeros elementos de la teoría unos con otros. Estos son los ejercicios elementales de un juego o de una teoría matemática.

Quien desea avanzar en el dominio del juego va adquiriendo unas pocas técnicas simples que, en circunstancias que aparecen repetidas a menudo, conducen al éxito. Estos son los hechos y lemas básicos de la teoría que se hacen fácilmente accesibles en una primera familiarización con los problemas sencillos del campo.

Una exploración más profunda de un juego con una larga historia proporciona el conocimiento de los caminos peculiares de proceder de los que han sido los grandes maestros en el campo. Estas son las estrategias de un nivel más profundo y complejo que han requerido una intuición especial puesto que se encuentran a veces bien alejadas de los elementos iniciales del juego. Esto corresponde en matemáticas a la fase en la que el estudiante trata de asimilar y hacer profundamente suyos los grandes teoremas y métodos que han sido creados a través de la historia. Son los procesos de las mentes más creativas que están ahora a su disposición para que él haga uso de ellas en las situaciones más confusas y delicadas.

Más tarde, en los juegos más sofisticados, donde la reserva de problemas nunca se agota, el jugador experto trata de resolver de forma original situaciones del juego que nunca antes han sido exploradas. Esto corresponde al enfrentamiento en matemáticas con los problemas abiertos de la teoría.

Finalmente hay unos pocos que son capaces de crear nuevos juegos, ricos en ideas interesantes y en situaciones capaces de motivar estrategias y formas innovadoras de jugar. Esto es paralelo a la creación de nuevas teorías matemáticas, fértiles en ideas y problemas, posiblemente con aplicaciones para resolver otros problemas abiertos en matemáticas y para revelar niveles de la realidad más profundos que hasta ahora habían permanecido en la penumbra.

La matemática y los juegos han entreverado sus caminos muy frecuentemente a lo largo de los siglos. Es frecuente en la historia de las matemáticas la aparición de una observación ingeniosa, hecha de forma lúdica, que ha conducido a nuevas formas de pensamiento. En la antigüedad se puede citar el I Ching como origen del pensamiento combinatorio, y de tiempos más modernos se puede citar en este contexto a Fibonacci, Cardano, Fermat, Pascal, Leibniz, Euler, Daniel Bernoulli,...

Del valor de los juegos para despertar el interés de los estudiantes se ha expresado muy certeramente Martin Gardner, el gran experto de nuestro tiempo en la presentación lúcida, interesante y profunda de multitud de juegos por muchos años en sus columnas de la revista americana *Scientific American*: «Con seguridad el mejor camino para despertar a un estudiante consiste en ofrecerle un intrigante juego, puzzle, truco de magia, chiste, paradoja, pareado de naturaleza matemática o cualquiera de entre una veintena de cosas que los profesores aburridos tienden a evitar porque parecen frívolas» (Carnaval Matemático, Prólogo).

El matemático experto comienza su aproximación a cualquier cuestión de su campo con el mismo espíritu explorador con el que un niño comienza a investigar un juguete recién estrenado, abierto a la sorpresa, con profunda curiosidad

ante el misterio que poco a poco espera iluminar, con el placentero esfuerzo del descubrimiento. Por qué no usar este mismo espíritu en nuestra aproximación pedagógica a las matemáticas?

A mi parecer el gran beneficio de este acercamiento lúdico consiste en su potencia para transmitir al estudiante la forma correcta de colocarse en su enfrentamiento con problemas matemáticos.

La matemática es un grande y sofisticado juego que, además, resulta ser al mismo tiempo una obra de arte intelectual, que proporciona una intensa luz en la exploración del universo y tiene grandes repercusiones prácticas. En su aprendizaje se puede utilizar con gran provecho, como hemos visto anteriormente, sus aplicaciones, su historia, las biografías de los matemáticos más interesantes, sus relaciones con la filosofía o con otros aspectos de la mente humana, pero posiblemente ningún otro camino puede transmitir cuál es el espíritu correcto para hacer matemáticas como un juego bien escogido.

4.9. Importancia actual de la motivación y presentación.

Nuestros alumnos se encuentran intensamente bombardeados por técnicas de comunicación muy poderosas y atrayentes. Es una fuerte competencia con la que nos enfrentamos en la enseñanza cuando tratamos de captar una parte substancial de su atención. Es necesario que lo tengamos en cuenta constantemente y que nuestro sistema educativo trate de aprovechar a fondo tales herramientas como el vídeo, la televisión, la radio, el periódico, el comic, la viñeta, la participación directa,...

Pienso que estamos aún muy lejos de saber aprovechar para nuestra enseñanza las posibilidades abiertas a través de los medios técnicos de los que ya disponemos actualmente. Una pequeña sugerencia práctica puede servir de ejemplo. En nuestro entorno tenemos profesores excelentemente preparados para servir de ejemplos sobre cómo realizar con eficacia la enseñanza de diversas materias que resultan para la mayoría un verdadero rompecabezas, por ejemplo la probabilidad, o sobre cómo introducir y motivar adecuadamente temas específicos del cálculo o de la geometría a diferentes niveles. Estos profesores se encuentran a menudo llamados a muchos lugares diferentes para que repitan las mismas ideas sobre el tema. No sería mucho más efectivo y menos costoso que algún organismo que no tuviera que ir en busca del provecho económico produjera una serie de videos con estas experiencias y las hiciera asequibles a un mayor número de personas?

En algunas regiones de nuestro país, los profesores de los diferentes niveles se han percatado de la importancia que puede tener un cambio efectivo que se puede realizar paulatinamente en la sociedad a través de los medios de comunicación actuales en la percepción de lo que la matemática es en realidad. Las experiencias son altamente satisfactorias, consiguiéndose en muchos casos a través de interesantes problemas, mediante la difusión de parcelas de la historia de la matemática o de sus aplicaciones, la involucración de familias y poblaciones enteras en actividades que en principio tal vez fueron planeadas para los estudiantes.

4.10. Fomento del gusto por la matemática.

La actividad física es un placer para una persona sana. La actividad intelectual también lo es. La matemática orientada como saber hacer autónomo, bajo una guía adecuada, es un ejercicio atrayente. De hecho, una gran parte de los niños más jóvenes pueden ser introducidos de forma agradable en actividades y manipulaciones que constituyen el inicio razonable de un conocimiento matemático. Lo que suele suceder es que un poco más adelante nuestro sistema no ha sabido mantener este interés y ahoga en abstracciones inmotivadas y a destiempo el desarrollo matemático del niño. El gusto por el descubrimiento en matemáticas es posible y fuertemente motivador para superar otros aspectos rutinarios necesarios de su aprendizaje, por los que por supuesto hay que pasar. La apreciación de las posibles aplicaciones del pensamiento matemático en las ciencias y en las tecnologías actuales puede llenar de asombro y placer a muchas personas más orientadas hacia la práctica. Otros se sentirán más movidos ante la contemplación de los impactos que la matemática ha ejercido sobre la historia y filosofía del hombre, o ante la biografía de tal o cual matemático famoso.

Es necesario romper, con todos los medios, la idea preconcebida, y fuertemente arraigada en nuestra sociedad, proveniente con probabilidad de bloqueos iniciales en la niñez de muchos, de que la matemática es necesariamente aburrida, abstrusa, inútil, inhumana y muy difícil.

5. Algunas tendencias actuales en los contenidos

Las mismas tendencias generales apuntadas en la sección 3 sugieren de forma natural unas cuantas reformas en los contenidos de los programas que, con más o menos empuje, y en algunos casos de forma experimental y tentativo, se van introduciendo.

5.1. ¿Un desplazamiento hacia la matemática discreta?

La matemática del siglo XIX y la del XX ha sido predominantemente la matemática del continuo en la que el análisis, por su potencia y repercusión en las aplicaciones técnicas, ha jugado un papel predominante.

El advenimiento de los ordenadores, con su inmensa capacidad de cálculo, con su enorme rapidez, versatilidad, potencia de representación gráfica, posibilidades para la modelización sin pasar por la formulación matemática de corte clásico,... ha abierto multitud de campos diversos, con origen no ya en la física, como los desarrollos de siglos anteriores, sino en otras muchas ciencias tales como la economía, las ciencias de la organización, biología,... cuyos problemas resultaban opacos, en parte por las enormes masas de información que había que tratar hasta llegar a dar con las intuiciones matemáticas valiosas que pudieran conducir a procesos de resolución de los difíciles problemas propuestos en estos campos.

Por otra parte, el acento en los algoritmos discretos, usados en las ciencias de la computación, en la informática, así como en la modelización de diversos fenómenos mediante el ordenador, ha dado lugar a un traslado de énfasis en la matemática actual hacia la matemática discreta. Ciertas porciones de ella son suficientemente elementales como para poder formar parte con éxito de un programa inicial de matemática. La combinatoria clásica, así como los aspectos modernos de ella,

tales como la teoría de grafos o la geometría combinatoria, podrían ser considerados como candidatos adecuados. La teoría elemental de números, que nunca llegó a desaparecer de los programas en algunos países, podría ser otro.

Se han realizado intentos por introducir estos elementos y otros semejantes pertenecientes a la matemática discreta en la enseñanza matemática inicial. Sucede que esto parece ser sólo posible a expensas de otras porciones de la matemática con más raigambre de las que no se ve bien cómo se puede prescindir. Aunque parece bastante obvio que el sabor de la matemática del futuro será bastante diferente del actual por razón de la presencia del ordenador, aún no se ve bien claro cómo esto va a plasmarse en los contenidos de la enseñanza primaria y secundaria.

5.2. Impactos en los contenidos de los métodos modernos de cálculo.

Hasta hace no mucho tiempo era frecuente en nuestras escuelas elementales dedicar una gran energía y largo tiempo a rutinas tales como la división de un número de seis cifras por otro de cuatro. O a la extracción a mano de la raíz cuadrada de un número de seis cifras con tres cifras decimales exactas. O, en cursos superiores, al manejo con destreza y rapidez de las tablas de logaritmos con su intrincado laberinto de interpolaciones. Hoy la presencia de la calculadora de bolsillo ha conseguido que casi todos estemos de acuerdo en que esa energía y ese tiempo están mejor empleados en otros menesteres. Tales operaciones son muy interesantes como algoritmos inteligentes y profundos, pero como destrezas rutinarias son superfluos.

En la actualidad, año 1991, en nuestra segunda enseñanza así como en los primeros años de nuestra enseñanza universitaria, dedicamos gran energía y largo tiempo a fin de que nuestros alumnos adquieran destreza y agilidad en el cálculo de derivadas, antiderivadas, resolución de sistemas lineales, multiplicación de matrices, representación gráfica de funciones, cálculo de la desviación típica,...

Ya desde hace unos años existen en el mercado calculadoras de bolsillo que son capaces, sin más que apretar unas pocas teclas, en unos breves segundos,

de hallar la derivada de $\left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$, de dar su polinomio de Taylor hasta el término

de tercer grado, de representar gráficamente esta función en un cierto entorno que se pida o bien de hallar el valor de su integral entre 2 y 3 con gran aproximación. La inversión de una matriz 8x8 le ocupa a la máquina unos pocos segundos, una porción mínima del tiempo que se tarda en darle los datos. El cálculo de la desviación típica de una gran masa de datos es una operación inmediata. Las soluciones de una ecuación de séptimo grado, incluidas las raíces complejas, son proporcionadas por la máquina en un abrir y cerrar de ojos.

Siendo así las cosas, es claro que nuestra enseñanza del cálculo, del álgebra, de la probabilidad y estadística, ha de transcurrir en el futuro por otros senderos distintos de los que hoy seguimos. Habrá que poner el acento en la comprensión e interpretación de lo que se está haciendo, pero será superflua la energía dedicada a adquirir agilidad en las rutinas que la máquina realiza con mucha mayor rapidez y seguridad. En la programación de nuestra enseñanza habremos de pre-

guntarnos constantemente dónde vale la pena que apliquemos nuestro esfuerzo inteligente y cuáles son las rutinas que podemos confiar a nuestras máquinas. El progreso de la inteligencia humana consiste en ir convirtiendo en rutinarias aquellas operaciones que en un principio han representado un verdadero desafío para nuestra mente y, si es posible, entregar la realización de tales rutinas a nuestras máquinas. Con ello podemos liberar lo mejor de nuestra capacidad mental a la resolución de los problemas que todavía son demasiado profundos para las herramientas de que disponemos. No temamos que tales problemas vayan escaseando.

La experimentación en matemáticas que se hace posible en campos cada vez más intrincados gracias a la presencia del ordenador y de la calculadora de bolsillo es otro de los retos para el futuro de nuestra enseñanza. ¿Converge la sucesión $a_n = (\sqrt[n]{x} - \sqrt[n]{x+1})$? Con la calculadora he escrito la fórmula que proporciona a_n luego le he pedido que calcule unos cuantos valores significativos. Responde:

$$a_{100} = 0,037421803; a_{1000} = 0,00594325; a_{10000} = 0,0008217, \dots$$

Este experimento me da confianza para conjeturar que converge a 0, aunque lentamente, y es bien sabido lo mucho que una conjetura correcta facilita la solución de un problema. Por otra parte la calculadora me proporciona la gráfica de la función $y = (\sqrt[n]{x} - \sqrt[n]{x+1})$ que viene a reforzar nuestra conjetura.

Por otra parte la capacidad para el cálculo infinitesimal, el álgebra, la estadística, la representación gráfica, la modelización, ... de esta calculadora que realiza cálculo simbólico además del numérico, y por supuesto mucho más la de los ordenadores actuales, potencian claramente las posibilidades de la matemática elemental para las aplicaciones realistas que hasta ahora estaban vedadas en nuestros cursos por el exceso de tedioso cálculo simbólico y numérico que habría que efectuar a mano.

5.3. Hacia una recuperación del pensamiento geométrico y de la intuición espacial.

Como reacción a un abandono injustificado de la geometría intuitiva en nuestros programas del que fue culpable la corriente hacia la «matemática moderna», hoy se considera una necesidad ineludible, desde un punto de vista didáctico, científico, histórico, volver a recuperar el contenido espacial e intuitivo en toda la matemática, no ya sólo en lo que se refiere a la geometría.

Es evidente que desde hace unos veinte años el pensamiento geométrico viene pasando por una profunda depresión en nuestra enseñanza matemática inicial, primaria y secundaria. Y al hablar del pensamiento geométrico no me refiero a la enseñanza de la geometría más o menos fundamentada en los Elementos de Euclides, sino a algo mucho más básico y profundo que es el cultivo de aquellas porciones de la matemática que provienen de y tratan de estimular la capacidad del hombre para explorar racionalmente el espacio físico en que vive, la figura, la forma física.

Esta situación, que se hace patente sin más que ojear nuestros libros de texto y los programas de nuestra educación primaria y secundaria, no es exclusiva

de nuestro entorno. En realidad es un fenómeno universal que, a mi parecer, se debe en buena medida a la evolución misma de la matemática desde comienzos de siglo, más o menos.

La crisis de los fundamentos de principio de siglo empujó al matemático hacia el formalismo, hacia el énfasis sobre el rigor, a una cierta huida de la intuición en la construcción de su ciencia.

Lo que fue bueno para la fundamentación fue considerado por muchos bueno también para la transmisión de conocimientos. Las consecuencias para la enseñanza de las matemáticas en general fueron malas, pero especialmente nefastas resultaron para el pensamiento geométrico. En esa idea de ir a los fundamentos, tal vez juntamente con una mala interpretación de los análisis de algunos psicopedagogos sobre la estructura evolutiva del conocimiento del niño, se basa el énfasis sobre la teoría de conjuntos y la búsqueda de rigor. La geometría, a nivel elemental es difícil de formalizar adecuadamente y así, en este intento, se nos fue por el mismo agujero el pensamiento geométrico, la intuición espacial y la fuente más importante que por muchos siglos ha tenido la matemática de verdaderos problemas y resultados interesantes abordables con un número pequeño de herramientas fácilmente asimilables.

El siglo XIX fue el siglo de oro del desarrollo de la geometría elemental, del tipo de geometría al que tradicionalmente se dedicaba la enseñanza inicial de la matemática, que vivía a la sombra de creaciones muy interesantes y muy de moda de la matemática superior tales como la geometría descriptiva, geometría proyectiva, geometría sintética, geometrías no euclídeas, ... El mismo sentido geométrico que estimuló los desarrollos espectaculares del siglo XIX sigue vivo también hoy en campos tales como la teoría de grafos, teoría de cuerpos convexos, geometría combinatoria, algunos capítulos de la teoría de optimización, de la topología, ... Como rasgos comunes a todos estos desarrollos se pueden señalar: una fuerte relación con la intuición espacial, una cierta componente lúdica y tal vez un rechazo tácito de desarrollos analíticos excesivos.

De estas materias, cuya profundidad se va manifestando cada vez más claramente, no se ha hecho eco en absoluto la enseñanza elemental. Solamente son tenidas en cuenta a nivel superior y a nivel de matemática recreativa. Pero esta matemática recreativa, en nuestro país, no ha encontrado aún el camino hacia la escuela.

Paradójicamente, no permitimos jugar a quien más le gusta y a quien más se beneficiaría con el juego matemático.

La necesidad de una vuelta del espíritu geométrico a la enseñanza matemática es algo en lo que ya todo el mundo parece estar de acuerdo. Sin embargo, aún no es muy claro cómo se debe llevar a cabo. Es necesario evitar llegar a los extremos en que se incurrió, por ejemplo, con la geometría del triángulo, tan en boga a finales del siglo XIX. También hay que evitar una introducción rigurosamente sostenida de una geometría axiomática. Posiblemente una orientación sana podría consistir en el establecimiento de una base de operaciones a través de unos cuantos principios intuitivamente obvios sobre los que se podrían levantar desarrollos locales interesantes de la geometría métrica clásica, elegidos por su belleza y profundidad. Las obras elementales de Coxeter pueden ser tal vez un ejemplo a

seguir en este terreno.

5.4. Auge del pensamiento aleatorio. Probabilidad y estadística.

La probabilidad y la estadística son componentes muy importantes en nuestra cultura y en muchas de nuestras ciencias específicas. Deberían constituir una parte importante del bagaje cultural básico del ciudadano de nuestra sociedad. Es este un punto en el que todos los sistemas educativos parecen concordar. Y efectivamente son muchos los países que incluyen en sus programas de enseñanza secundaria estas materias, pero en pocos esta enseñanza se lleva a cabo con la eficacia deseada. En España este fenómeno, a mi parecer, se debe por una parte a la dificultad misma de las materias en cuestión y a una cierta carencia de preparación adecuada de los profesores para esta tarea. Tal vez nos falten buenos modelos de enseñanza de ellas.

6. Desiderata

A continuación quisiera presentar muy someramente unas pocas sugerencias sobre algunos proyectos a los que, en mi opinión, nuestra comunidad matemática podría y debería prestar una particular atención.

6.1. Atención a la formación inicial y permanente de los profesores de matemáticas.

En 1908, Felix Klein escribía en la introducción de sus lecciones sobre Matemática elemental desde un punto de vista superior: «...durante mucho tiempo la gente de la universidad se preocupaba exclusivamente de sus ciencias, sin conceder atención alguna a las necesidades de las escuelas, sin cuidarse en absoluto de establecer conexión alguna con la matemática de la escuela. ¿Cuál era el resultado de esta práctica? El joven estudiante de la universidad se encontraba a sí mismo, al principio, enfrentado con problemas que no le recordaban en absoluto las cosas que le habían ocupado en la escuela. Naturalmente olvidaba estas cosas rápida y totalmente. Cuando, después de acabar su carrera se convertía en profesor de enseñanza media se encontraba de repente en una situación en la que se suponía que debía enseñar las matemáticas elementales tradicionales en el viejo modo pedante; y puesto que, sin ayuda, apenas era capaz de percibir conexión alguna entre su tarea y sus matemáticas universitarias, pronto recurría a la forma de enseñanza garantizada por el tiempo y sus estudios universitarios quedaban solamente como una memoria más o menos placentera que no tenía influencia alguna sobre su enseñanza».

Ha pasado cerca de un siglo y, al menos en lo que respecta la formación inicial que nuestros licenciados reciben no creo que se pueda decir que en nuestro entorno la situación difiere mucho de estas circunstancias indeseables que Klein describe.

Lo que la sociedad tiene derecho a esperar de la universidad en lo que respecta a la formación inicial de aquellas personas a las que le va a confiar la educación matemática de los más jóvenes se podría concretar en:

- una componente científica adecuada para su tarea específica,

- un conocimiento práctico de los medios adecuados de transmisión de las actitudes y saberes que la actividad matemática comporta,
- un conocimiento integrado de las repercusiones culturales del propio saber específico.

Cualquiera que estudie atentamente los programas de estudio de la mayor parte de nuestras universidades podrá apreciar sus importantes carencias en los aspectos que podrían conducir a esta formación adecuada de nuestros enseñantes.

A mi parecer, ni los cursos complementarios añadidos al final de los estudios de Licenciatura con el objeto de proporcionar una formación pedagógica razonable ni los cursillos de formación permanente pueden substituir razonablemente la formación intensa que se debería realmente estimular durante los años de permanencia en la universidad, años en los que el alumno está mucho más abierto para recibirla.

Pienso que son raras entre nosotros las universidades que no descuidan abiertamente esta seria obligación con respecto a la sociedad y que urge poner manos a la obra a fin de remediar esta situación rápidamente.

6.2. Atención a la investigación en educación matemática.

Como hemos tenido ocasión de ver, la educación matemática es una actividad interdisciplinaria extraordinariamente compleja, que ha de abarcar saberes relativos a las ciencias matemáticas y a otras ciencias básicas que hacen uso de ella, a la psicología, a las ciencias de la educación, ... Sólo en tiempos muy recientes se ha ido consolidando como un campo, con tareas de investigación propias, difíciles y de repercusiones profundas en su vertiente práctica. Se puede afirmar que en el sistema universitario un tanto inerte de nuestro país la educación matemática aún no ha llegado a encontrar una situación adecuada por muy diversos motivos, a pesar de que ya van formándose grupos de trabajo en los que se producen resultados importantes.

A mi parecer es muy necesario, por lo que a la sociedad le va en ello, que se formen en nuestras universidades buenos equipos de investigación en educación matemática que ayuden a resolver los muchos problemas que se presentan en el camino para una enseñanza matemática más eficaz.

6.3. Atención a la educación matemática de la sociedad. Popularización de la matemática.

La sociedad de España se encuentra, por tradición de siglos, con una cultura fuertemente escorada hacia sus componentes humanísticas. En España, cultura parece ser sinónimo de literatura, pintura, música,... Muchas de nuestras personas ilustradas no tienen empacho alguno en confesar abiertamente su profunda ignorancia respecto de los elementos más básicos de la matemática y de la ciencia y hasta parecen jactarse de ello sin pesar ninguno. Las páginas de la mayor parte de nuestros periódicos aún no se han percatado de que las ciencias, y en particular las matemáticas, constituyen ya en nuestros días uno de los pilares básicos de la cultura humana. Es más, parece claro que, como afirma Whitehead, «si la civilización continúa avanzando, en los próximos dos mil años, la novedad predominante en el pensamiento humano será el señorío de la intelección matemática».

Sería muy deseable que todos los miembros de la comunidad matemática y científica nos esforzáramos muy intensamente por hacer patente ante la sociedad la presencia influyente de la matemática y de la ciencia en la cultura. Una sociedad con el conocimiento cabal de lo que la ciencia representa para su desarrollo se hará colectivamente más sensible ante los problemas que la educación de los más jóvenes en este sentido representa.

En la comunidad matemática internacional se viene prestando recientemente una gran atención a los medios convenientes para lograr abrir los ojos de amplios sectores de la sociedad hacia los beneficios de todos los órdenes que puede reportar una cultura que integre, del modo debido, ciencia y matemática.

6.4. Atención al talento precoz en matemáticas.

Es seguro que en nuestras comunidades escolares existe un cierto número de estudiantes con una dotación intelectual para las matemáticas verdaderamente excepcional. Son talentos que pasarían a veces más o menos inadvertidos y más bien desatendidos por la imposibilidad de que los profesores dediquen la atención personal que se necesitaría. Son personas que, en un principio ilusionadas con la escuela, pasan a un estado de aburrimiento, frustración y desinterés que les conducirá probablemente al adocenamiento y a la apatía, tras un período escolar de posible gran sufrimiento.

Por otra parte son talentos que podrían rendir frutos excepcionales para el bien común de nuestra sociedad, si no se malograrán, mediante su aporte extraordinario al desarrollo cultural, científico y tecnológico del país. Constituye una gran responsabilidad social la indudable pérdida de talento que causa su desatención. En la actualidad ningún organismo, ni público ni privado, presta atención continuada a la tarea de detectar, estimular y orientar el talento extraordinario y precoz en matemáticas, así como tampoco en ninguna otra de las ciencias. Existe, y con mucha justificación, una atención, apoyo y cuidado especiales con respecto a la enseñanza del infradotado, pero pienso que apenas se ha prestado atención alguna a los problemas propios de los talentos precoces en los países.

Se puede pensar con cierto fundamento que el talento precoz en matemáticas es más fácil de detectar y estimular que en otras ciencias. De hecho existen desde hace mucho tiempo proyectos realizados con éxito en un buen número de países. Hay diversos caminos para encauzar el problema y entre ellos los hay que no son de un coste excesivo, especialmente si se tiene en cuenta el rendimiento a largo plazo de una actuación bien llevada.

Es posible, a juzgar por el efecto que en países de nuestro ámbito cultural iberoamericano ha tenido la emergencia de unas pocas personalidades de extraordinario talento en el desarrollo matemático del país, que una acción sostenida de detección y estímulo del talento matemático precoz podría colocar nuestro país en tiempo razonable a una altura matemática y científica mucho más elevada.

Bibliografía

Alonso, F. y otros, Aportaciones al debate sobre las matemáticas en los 90, Simposio de Valencia 1987 (Mestral, Valencia, 1987)

- Boyer, C.B.*, **A History of Mathematics** (J.Wiley, New York, 1968) (Traducido al castellano en Alianza Editorial, Madrid)
- Blum, W., Niss, M., Huntley, I.* (editors), **Modelling, Applications and Applied Problems Solving. Teaching mathematics in a real context** (Ellis Horwood, Chichester, UK, 1988).
- Blum, W. and Niss, M.*, **Applied mathematical problem solving, modelling, applications, and links to other subjects- State, trends and issues in mathematics instruction**, *Educational Studies in Mathematics* 22 (1991), 37-68.
- Churchhouse, R.F. et alii* (editors), **The Influence of Computers and Informatics on Mathematics and its Teaching (ICMI Study Series)** (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1986)
- Coxeter, H.S.M.*, **Introduction to Geometry** (J.Wiley, New York, 1961)
- Coxeter, H.S.M. and Greitzer, S.L.*, **Geometry revisited** (Random House, New York, 1967)
- Davis, P.J. and Hersh, R.*, **Experiencia matemática** (MEC-Labor, Madrid-Barcelona, 1988)
- Guzmán, M. de*, **Juegos matemáticos en la enseñanza**, Actas de las IV Jornadas sobre Aprendizaje y Enseñanza de las Matemáticas, IV JAEM 1984, Sociedad Canaria de Profesores de Matemáticas «Isaac Newton», 49-85.
- Guzmán, M. de*, **Enfoque heurístico de la enseñanza de la matemática, Aspectos didácticos de matemáticas 1 (1985)**, Publicaciones del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Zaragoza, 31-46.
- Guzmán, M. de*, **Aventuras Matemáticas** (Labor, Barcelona, 1986)
- Guzmán, M. de*, **Enseñanza de la matemática a través de la resolución de problemas**. Esquema de un curso inicial de preparación, Aspectos didácticos de matemáticas 2 (1987) Publicaciones del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Zaragoza, 52-75.
- Guzmán, M. de*, **Tendencias actuales de la enseñanza de la matemática**, *Studia Paedagogica. Revista de Ciencias de la Educación*, 21 (1989), 19-26.
- Guzmán, M. de*, **Para pensar mejor** (Labor, Barcelona, 1991)
- Howson, A.G. and Wilson, B.*, **Las matemáticas en primaria y secundaria en la década de los 90**, ICMI, Kuwait 1986 (Mestral, Valencia, 1987)
- Howson, A.G., Kahane, J.-P., Lauginie, P. and Turckheim, E. de* (editors), **Mathematics as a Service Subject (ICMI Study Series)** (Cambridge Univ. Press, 1988)
- Howson, A.G. and Kahane, J.-P.*, **The Popularization of Mathematics** (ICMI Study Series) (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990)
- Klein, F.*, **Matemática elemental desde un punto de vista superior** (vol.1, 1927) (vol.2, 1931) ((Biblioteca Matemática, Madrid)
- Kline, M.*, **Mathematical thought from ancient to modern times** (Oxford Univ. Press, Oxford, 1972) (Se publicará en breve la traducción al castellano en Alianza, Madrid)

*Nesher, P. and Kilpatrick, J. (editors), **Mathematics and Cognition: A Research Synthesis by the International Group for the Psychology of Mathematics Education** (ICMI Study Series) (Cambridge Univ. Press, 1990)*

*Niss, M., Blum, W., Huntley, I., **Teaching of Mathematical Modelling and Applications** (Ellis Horwood, Chichester, UK, 1991)*

*Santaló, L.A., **Enseñanza de la matemática en la escuela media** (Docencia, Buenos Aires, 1981)*

*Santaló, L.A., **La educación matemática, hoy** (Teide, Barcelona, 1975)*

*Toeplitz, O., **The Calculus. A genetic approach** (The Univ. of Chicago Press, Chicago, 1963)*