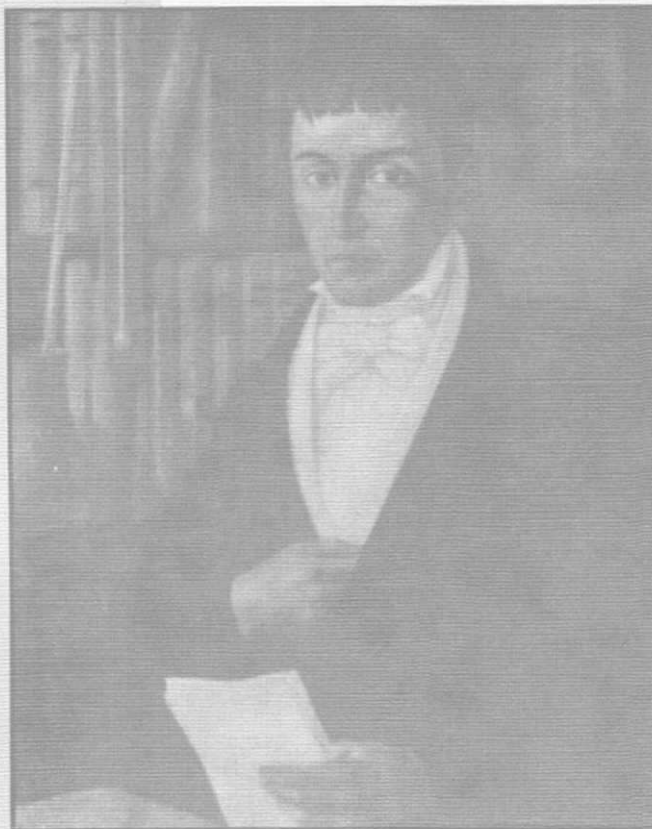


Enseñanza de las Ciencias y Resolución de Problemas



Científico Francisco José de Caldas

*Reproducción autorizada por la
Revista de la Academia Colombiana de
Ciencias Exactas Físicas y Naturales.
Santafé de Bogotá*

Francisco José de Caldas (1771-1816)

Naturalista y geógrafo colombiano nacido en Popayán, de noble familia. Empezó sus estudios en el seminario de esa ciudad y los terminó en el Colegio del Rosario, donde recibió el título de abogado. Sin embargo, se consagró totalmente a las matemáticas, la astronomía y las ciencias naturales, en las que alcanzó tantos adelantos que llegó a ser reconocido y a su vez llamado «El Sabio Caldas».

Caldas tomó parte en diversas expediciones científicas , entre ellas la de Celestino Mutis y la de Humboldt. Recorrió gran parte del Nuevo Reino estudiando sus riquezas: clasificó las quinas, hizo un herbario de un gran volumen de plantas, midió bastantes alturas por medio del agua y del barómetro, hizo muchas observaciones meteorológicas, levantó varios mapas entre ellos el de Perú, trazando y señalando las cumbres andinas.

Entre otras obras, publicó *La Memoria sobre la Nivelación de las Plantas del Ecuador*, *Historia de Nuestra Revolución*, *Educación de Menores*, *Importancia del Cultivo de la Cochinilla y Chinchografía y Geografía de los Arboles de Quina*.

(tomado de : <http://www.colciencias.gov.co/entidad/caldas.htm>)

Francisco José de Caldas (1771-1816)

Colombian naturalist and geographer born in Popayán, from a noble family. He studied at the seminary of his native city, and then at the Colegio del Rosario, where he graduated as a lawyer. Nevertheless, he dedicated entirely to the study of mathematics, astronomy, and natural sciences, in which he reached many achievements that led him to be recognised and to be called El Sabio Caldas (Caldas, the wise).

Caldas took part in different scientific expeditions, including those of José Celestino Mutis and Humboldt. He travelled through most of the territories of the New Kingdom of Granada, studying their natural resources. He classified "quinas" (*cinchona*), made a herbarium with a great number of plants, measured a lot of altitudes by means of the water and the barometer, made many meteorological observations, drew several maps -such as that of Perú-, designing and pointing out the Andean summits.

La memoria sobre la nivelación de las plantas, *Historia de nuestra revolución*, *Educación de menores*, *Importancia del cultivo de la cochinilla*, and *Chinchografía y Geografía de los árboles de Quina*, are some of his publications.

La resolución de problemas en la didáctica de las ciencias experimentales

*F. Javier Perales Palacios **

- Resúmen

Se pretende una caracterización didáctica de los modelos de aprendizaje, desde el papel asignado a la resolución de problemas. Esta caracterización contribuirá a mejorar la eficiencia del aprendizaje científico y la superación de los altos niveles de fracaso escolar. Otra contribución significativa es la reflexión sobre la evaluación en clase de solución de problemas.

- Abstract

A didactic characterisation of learning models is intended, starting from the role of problem solving. This characterisation will help to obtain a higher efficiency in science learning and to lower the high levels of school failure. Another meaningful contribution is the reflection on problem solving assessment in the classroom.

- Resume

L'auteur soutient une caractérisation didactique des modeles d'apprentissage, fondee sur le role assigné á la résolution de problémes. Cette caractérisation contribuera á améliorer l'efficience de l'apprentissage scientifique et á supérer les niveaux eleves d'échec scolaire. La réflexion sur l'évaluation en cours de la solution de problémes est également un apport significatif.

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada (España)

Palabras claves: enseñanza de las ciencias, modelo didáctico, aprendizaje significativo, fracaso escolar, aula, evaluación Keywords: *Science teaching, didactic model, meaningful learning, school failure, classroom, assessment*

INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas constituye una de las facetas educativas que cualquier alumno suele relacionar con la enseñanza de las Ciencias o de las Matemáticas. Ese reconocimiento suele también identificarse con listas interminables de problemas suministradas por el profesor o incluidas en monografías, pero en las que el alumno es incapaz de hallar una mínima relación con los problemas que acontecen en su quehacer diario. Las conductas que desencadena en el profesor y el alumno la resolución de problemas tradicional están impregnadas de una serie de rutinas descontextualizadas, inalteradas década tras década. El resultado no puede ser más frustrante: altos índices de fracaso escolar, rechazo a estas materias durante la enseñanza obligatoria o descensos preocupantes en el índice de inscripción de los estudiantes universitarios en carreras científicas. Resulta evidente, pues, la necesidad de renovar en profundidad este tópico educativo, tal y como reclaman insistentemente expertos e investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales.

ALGUNAS PRECISIONES SEMÁNTICAS

No estaría de más establecer, inicialmente, algunas matizaciones en torno a los vocablos más comunes implicados en esta temática antes de abordar su análisis: problema, resolución, solución, resultado, problemas cotidianos, problemas académicos.

Comenzando por el concepto genérico de problema, podríamos definirlo como « *una situación incierta que provoca en quien la padece una conducta (resolución del problema) tendente a hallarla solución (resultado) y reducir de esta forma la tensión inherente a dicha incertidumbre*».

En el ámbito cotidiano existen referencias continuas a estos términos. Expresiones tales como: «*no me des problemas*», «*tengo un problema muy gordo y no sé cómo resolverlo*»,... son habituales en el lenguaje de la calle. Los ámbitos en las que surgen son igualmente variados: afectivo, económico, policial, etc. Pero el hecho de que surja un problema no implica que posea una solución única u óptima, ni siquiera que la persona afectada disponga de la capacidad de dar con ella, aunque en cualquier caso, suele requerirse una voluntad decidida de abordarlo y un conocimiento declarativo y procedimental mínimo. Por otra parte, el propio concepto de problema posee una dimensión altamente idiosincrática: lo que para una persona puede representar un problema (p. ej., conducir un coche para un novato) no tiene porqué serlo para otra (cambiar de marchas para un conductor experto).

En cuanto a los problemas académicos tradicionales, albergan serias diferencias con respecto a los cotidianos. En primer lugar, aquellos no surgen espontáneamente, sino de un modo intencionado para servir los fines didácticos perseguidos. En segundo lugar, contrariamente a lo que sucede habitualmente, los problemas académicos poseen una solución conocida por anticipado. En tercer lugar, generalmente estos problemas incluyen unos datos inicialmente explícitos, algo que no suele ocurrirle a los problemas cotidianos, donde deben ser buscados intencionadamente.

Las nuevas corrientes pedagógicas, que tienden a aproximar los contextos escolar y cotidiano en la enseñanza, incorporan entre sus recomendaciones la necesidad de utilizar en el aula la resolución de problemas abiertos -que comentaremos más adelante-, donde estas diferencias se verían atenuadas.

RESOLVER PROBLEMAS... ¿PARA QUÉ?

Existe un consenso prácticamente unánime, entre los educadores a favor de la oportunidad de que los alumnos de ciencias resuelvan problemas o hagan trabajos prácticos en el laboratorio, pero ¿para qué?. En las clases tradicionales esa pregunta, aplicada a la resolución de problemas, podría tener un primer nivel de respuesta a partir de un análisis de su utilización habitual:

- * Las clases dedicadas a problemas persiguen que el alumno sepa aplicar las nociones teóricas previas, por un lado, y que aprenda a resolverlos, por el otro ; por cuanto se supone que representan un buen medio para la adquisición de determinadas habilidades consustanciales con el aprendizaje científico (p. ej., desde el cálculo matemático al diseño y aplicación de estrategias de resolución).
- * La inclusión de problemas en los exámenes de las materias científicas supone su consideración como un instrumento evaluador especialmente indicado para estas disciplinas.

Si matizamos y completamos estos objetivos clásicos de acuerdo con las nuevas tendencias educativas, podríamos afirmar que, la resolución de problemas podría permitir:

- * Diagnosticar las ideas previas de los alumnos y ayudarles a construir sus nuevos conocimientos a partir de las mismas.
- * Adquirir habilidades de distinto rango cognitivo.
- * Promover actitudes positivas hacia la Ciencia y actitudes científicas.
- * Acercar los ámbitos de conocimiento científico y cotidiano, capacitando al alumno para resolver situaciones problemáticas en este último.
- * Evaluar el aprendizaje científico del alumno.

UNA CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS

Aunque existen distintas clasificaciones de los problemas y un relativamente abundante vocabulario al respecto (problemas de lápiz y papel, cuestiones, ejercicios, etc.), hemos optado por establecer distintos criterios y, a partir de ellos, agrupar los problemas.

La fig. 1 reproduce la clasificación aludida y la Tabla I se centra en la descripción de los tipos de problemas según el procedimiento seguido en su resolución.

LA RE

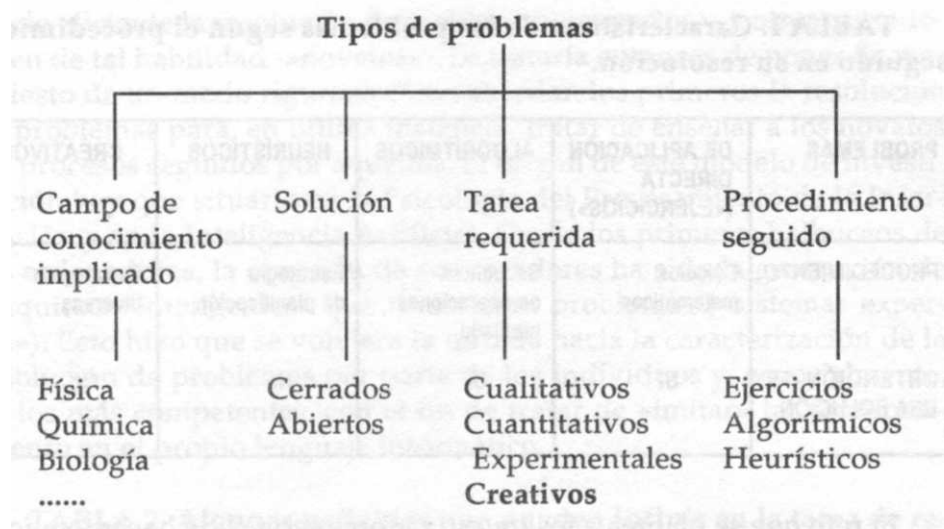


FIGURA 1. Clasificación de los problemas según los criterios mencionados.

UNA MIRADA EMPÍRICA: MODELOS DE INVESTIGACIÓN EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Si uno trata de sintetizar la tradición investigadora en resolución de problemas de Ciencias Experimentales, es posible hacerlo en torno a unos modelos de investigación que describiremos, brevemente, a continuación:

La resolución de problemas como un problema de muchas variables

Este enfoque de investigación supone considerar la resolución de problemas como una tarea compleja en la que intervienen un gran número de factores o variables.

TABLA I. Características de los problemas según el procedimiento seguido en su resolución.

PROBLEMAS	DE APLICACIÓN DIRECTA («EJERCICIOS»)	ALGORÍTMICOS	HEURÍSTICOS	CREATIVOS
PROCEDIMIENTO	Cálculos matemáticos	Secuencia de operaciones prefijada	Estrategia de planificación	Estrategias diversas
OBTENCIÓN DE UNA SOLUCIÓN	Sí	Sí	No	No

El reto que se plantea a los investigadores sería el de hacer explícitos tales factores, identificar su peso específico y, en consecuencia, intervenir educativamente sobre ellos, a fin de mejorar la eficiencia de tal actividad.

Los supuestos que se asumen tras ese enfoque, podrían ubicarse alrededor de la enseñanza tradicional de las Ciencias y de la Psicología Conductista. En el primer caso, la resolución de problemas se concebiría como una actividad cuyo principal objetivo consistiría en que el alumno alcance como meta la solución correcta del problema, valorando, a tal, efecto las variables que pudieran contribuir a ello. En el segundo caso, la identificación de variables que correlacionan fuertemente con el éxito en la resolución de problemas permitiría, en última instancia, extraer leyes experimentales que predijeran el rendimiento de los alumnos en dicha tarea y, consiguientemente, planificar de un modo más «científico» su enseñanza.

En la Tabla II se enuncian algunas de las variables investigadas.

La resolución de problemas por expertos y novatos

Esta perspectiva difiere claramente de la anterior. Ahora se opta por hacer valer el papel del propio solucionador del problema, bajo una perspectiva netamente pragmática: existen individuos que desarrollan de un

modo eficiente la resolución de problemas -«expertos»- y otros que adolecen de tal habilidad -«novatos»-. Se trataría entonces de poner de manifiesto de un modo riguroso cómo abordan los primeros la resolución de problemas para, en última instancia, tratar de enseñar a los novatos los procesos seguidos por aquéllos. El origen de este modelo de investigación hay que situarlo en la Psicología del Procesamiento de la Información y en la Inteligencia Artificial. Desde los primeros balbuceos de los ordenadores, la obsesión de sus creadores ha sido la generación de máquinas «inteligentes» que resolvieran problemas («sistemas expertos»). Esto hizo que se volviera la mirada hacia la caracterización de la resolución de problemas por parte de los individuos y, especialmente, de los más competentes, con el fin de tratar de «imitar» tal comportamiento en el propio lenguaje informático.

TABLA 2. Algunas variables que pueden influir en la tarea de resolver problemas.

LA NATURALEZA DEL ENUNCIADO
Estructura funcional (componentes)
Estructura semántica (claridad, precisión, grafismo, etc.)
Solución (conocida/ desconocida)
EL CONTEXTO DE LA RESOLUCIÓN
Manipulación de objetos reales
Consulta de material de apoyo
Verbalización de la resolución
Suministro del algoritmo de la resolución
Tiempo disponible para la resolución
Resolución individual, en pequeño grupo o en gran grupo
EL SOLUCIONADOR
Conocimiento teórico
Habilidades cognitivas (nivel operatorio, estilo cognitivo, metaconocimiento, pensamiento divergente, etc.)
Otras variables (actitud, ansiedad, edad, sexo, etc.)

Naturalmente, la investigación se topó con las dificultades intrínsecas a este tipo de estudios, aunque tuvo como efecto indirecto un avance significativo de este campo de trabajo.

Algunas consecuencias genéricas de esta línea de investigación se mencionan seguidamente:

- * Resulta inadecuado concebir la dimensión experto /novato como una variable discreta, antes bien debe contemplarse como un continuo (López-Rupérez; 1991).
- * Persisten serios interrogantes sobre las fuentes cognitivas de la condición de experto/novato. ¿Habría que conceder más peso a la experiencia del solucionador con el contenido implicado en el problema en cuestión o cabría hacerlo para sus habilidades o desarrollo cognitivo? La respuesta no es fácil ni unívoca. En primer lugar, habría que considerar la naturaleza de la tarea, esto es, no sería igual abordar un problema semánticamente pobre (p. ej., los pasatiempos que consisten en descubrir las diferencias entre dos dibujos aparentemente iguales) que otro inscrito en un contenido científico bien delimitado (p. ej., un problema de máquinas térmicas) e, incluso, dentro de estos últimos habría que considerar el tipo de problema en cuestión. En segundo lugar, si aceptamos el carácter continuo de la conducta de resolución de problemas, las diferencias individuales que evidencian alumnos con una formación académica equivalente deberían ser explicadas en razón de las diferentes características de su propio desarrollo cognitivo. Parece razonable admitir la doble contribución del conocimiento declarativo y procedimental en la adquisición de «expertez» en la resolución de problemas (véase Pozo y col.; 1994, 34-52).
- * Como instrumento de investigación ha sido profusamente utilizado el formato de «pensamiento en voz alta» («thinking aloud»), mediante el cual y a partir de la grabación de las expresiones verbales de los solucionadores para explicar cómo van resolviendo los problemas, permite categorizar los procesos seguidos.
- * En razón de ese objetivo último de elaborar programas informáticos y ordenadores que imitaran la conducta de los expertos, la necesaria

elaboración de diagramas de flujo como herramienta en la programación ha permitido operativizar y secuenciar las estrategias seguidas por los expertos en la resolución de problemas.

- * En el ámbito docente, las diferencias experto/novato cuando se equiparan a profesores/alumnos, respectivamente, resultan útiles para comprender los frecuentes muros cognitivos que separan a unos de otros en la identificación de los problemas y de su resolución, y que tan nefastas consecuencias posee para el éxito de la tarea. A su vez, conocer las estrategias seguidas por los profesores en la resolución de problemas no presupone necesariamente el modo en que se enseña su resolución, tendiendo normalmente a reproducir las conductas aprendidas en su propia formación inicial.

La enseñanza de estrategias heurísticas

Este subapartado constituye la tercera opción que, a nuestro juicio, puede contemplarse en la investigación más relevante en torno de la resolución de problemas en ciencias experimentales. También puede contemplarse como la opción que apuesta claramente por la vertiente aplicada frente a las dos anteriores que, aunque indirectamente podrían desprenderse de sus resultados consecuencias para la intervención educativa, ésta no constituía su premisa básica.

Como su denominación indica, los estudios que pueden englobarse bajo ella pretenden enseñar a los alumnos estrategias de resolución de problemas que, presuntamente, les permitirán resolver los problemas con un mayor acierto. El haber especificado como estrategia preferente la heurística (véase la Tabla I) representa haber considerado a ésta como la representante más genuina y requerida para la mayor parte de los problemas al uso en las aulas.

En general, tales estrategias pueden adscribirse a las etapas prescritas tempranamente por Polya (1945) a partir de su análisis de los modos de resolución de problemas por parte de los individuos:

- * Definición del problema: selección de la información pertinente.
- * Planificación del problema: elaboración del esquema de resolución.

- * Ejecución: resolución propiamente dicha.
- * Retroacción: revisión del proceso.

UNA MIRADA TEÓRICA: MODELOS DIDÁCTICOS Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Por contraposición al apartado anterior en el que, mediante un procedimiento inductivo, se agrupaba el cuerpo empírico de investigación sobre resolución de problemas en tres líneas bien definidas, ahora se partirá de los modelos reconocidos como más influyentes en la reciente historia de la Didáctica de las Ciencias -aun a riesgo de incurrir en la artificiosidad que puede conllevar la explicitación de unos modelos que en gran medida han poseído una fuerte carga implícita- para ubicar el papel que la resolución de problemas ha jugado en su puesta en práctica habitual.

Se desarrollará cada modelo en un orden cronológico respecto de su irrupción en la enseñanza de las Ciencias y atendiendo a sus características básicas y al papel desempeñado por la resolución de problemas, prestando una mayor atención a los modelos con una mayor vigencia actual.

Modelo por transmisión-recepción.

El modelo que se refiere a continuación constituye, con unas variaciones de mayor o menor calado, el paradigma dominante en la enseñanza tradicional e, incluso, en la actual. Este último hecho reviste una especial gravedad por cuanto dicho modelo ha sido coherente con las premisas y circunstancias que han rodeado la enseñanza academicista seguida desde la creación de las primeras universidades o en la propia tradición escolástica, esto es, una cuidadosa selección del profesorado y del alumnado, una aceptación tácita del sistema de enseñanza, etc; lo que se contrapone radicalmente con el papel de la enseñanza en el mundo actual, especialmente en los países desarrollados, es decir, educación obligatoria hasta la adolescencia, pérdida del prestigio social del profesor, potencial educativo de los «mass media», etc. Es por ello llamativo y paradójico el mantenimiento de unos supuestos y hábitos claramente desfasados que sólo

cabría justificarlos desde la verificación de la «ley del mínimo esfuerzo». 1.

Características

- * El alumno es considerado como una «tabla rasa» donde es posible «grabar» toda la información suministrada por el profesor.
- * El profesor se constituye como el principal artífice del proceso de enseñanza-aprendizaje, utilizando los recursos necesarios para optimizar el acto de la enseñanza verbal: repetición, asociación de ideas, analogías, contraste (mediante contraejemplos), deducción,...
- * El contenido que se imparte debe estar lógicamente estructurado y ser de naturaleza preferentemente conceptual.

Una secuencia prototípica de exposición del contenido especialmente válida en el caso de la Física podría ser la siguiente:

Introducción (contextualización lógica del nuevo contenido)

Presentación de los nuevos conceptos (definición, clasificación,
unidades, ejemplos contraejemplos, representación gráfica)

Relación con otros conceptos previamente definidos
(ecuaciones, leyes, teorías, demostraciones, ...)

Aplicaciones
(resolución de problemas, prácticas de laboratorio, ...)

- * La evaluación del aprendizaje es de naturaleza esencialmente reproductiva (desarrollo de temas, cumplimentación de demostraciones, resolución de problemas-tipo, etc.).

Naturalmente, las características aludidas no deben contemplarse como un molde del que surgen como réplicas las distintas modalidades de enseñanza reales, detectándose diferencias notables en función de la ciencia elegida como objeto de enseñanza. Así, este esquema sería más difícilmente aplicable siguiendo la progresión de las siguientes ciencias: Física -> Química -> Biología -> Geología.

2. Papel asignado a la resolución de problemas

- * Los problemas poseen un carácter esencialmente aplicativo y evaluador.
- * Se refuerza la consideración de los «problemas-tipo» como medio para resolver la mayoría de los problemas.
- * La gran parte de los problemas utilizados son cerrados y cuantitativos.
- * Se dedican a ellos sesiones docentes exclusivas.
- * Se potencia la «matemática» del problema.
- * Se concede mayor importancia a la obtención de un resultado correcto que al propio proceso de resolución.

Modelo por descubrimiento.

La gran reforma que supuso el surgimiento de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en los Estados Unidos durante la década de los años 50, debía basarse en unas cuantas premisas antagónicas con respecto a las vigentes entonces, sustentadoras de la enseñanza tradicional, y que habían supuesto un relativo fracaso en comparación con algunos resultados alcanzados por la ciencia soviética. Y eso fue lo que promovieron las grandes asociaciones científicas y educativas, amén de un incremento notable en las partidas presupuestarias destinadas a la educación.

1. Características

- * El alumno es considerado como el gran artífice del proceso de enseñanza-aprendizaje, a través de una construcción/reinvención del conocimiento ya establecido.

- * El profesor juega un papel más o menos secundario en el aprendizaje, dependiendo de las distintas opciones del modelo (descubrimiento dirigido, semidirigido o autónomo).
- * El contenido científico a enseñar debería poseer una fuerte carga procesual (observación, recogida de datos, elaboración de hipótesis, etc.)

Se recoge a continuación un ejemplo de secuencia de actuación didáctica tomado de Joyce y Weil (1985), citado en Pozo (1987):

- * Confrontación del alumno a una situación problemática (generalmente sorprendente).
- * Verificación de los datos recogidos con respecto a esa situación (se trataría de responder a la pregunta: ¿qué ha sucedido realmente?).
- * Experimentación en torno a dichos datos (separación de variables intervinientes y comprobación de su efecto).
- * Organización de la información recogida y explicación de la misma (es decir, elaboración de una teoría con respecto a la situación observada).
- * Reflexión sobre la estrategia de investigación seguida (análisis del método científico).

2. Papel asignado a la resolución de problemas

- * Los problemas suponen un medio para la adquisición de habilidades cognitivas (especialmente, el razonamiento hipotético-deductivo).
- * Lo que importa en la resolución es el método seguido, más que el contenido al que se refiere el problema.
- * La organización docente del aula suele basarse en el trabajo individualizado o de pequeño grupo.
- * Se acentúa el carácter «práctico» y creativo del problema.
- * El resultado obtenido en el problema se interpreta normalmente en términos de descubrimiento (p. ej., la ley del péndulo).

Modelo constructivista.

La revolución en la enseñanza de las Ciencias que supuso el movimiento de renovación que se ha englobado bajo la denominación de Modelo por Descubrimiento, si bien tuvo los efectos positivos de prestar su atención a este dominio didáctico y favorecer su despegue, comenzó a entrar en crisis al coincidir con movimientos sociales y políticos que ponían en entredicho el papel idealizado de la Ciencia y la Tecnología en el mundo actual; a ello se unieron otros factores de tipo práctico como las dificultades de compatibilizar las exigencias metodológicas y materiales del modelo con el cumplimiento de los programas escolares o las limitaciones presupuestarias destinadas a la enseñanza pública. Tales hechos, junto con otros factores de carácter extrínseco o intrínseco, fueron abonando el terreno del cambio de paradigma en pos del surgimiento de todo un movimiento de renovación que se ha venido a englobar bajo el paraguas del denominado «Modelo Constructivista».

1. Características

El movimiento didáctico que aquí nos ocupa, podría ser contemplado desde una triple perspectiva, fruto del intento de responder a tres preguntas clave en todo proceso de enseñanza-aprendizaje:

- a) ¿Qué sabe el alumno?
- b) ¿Cómo aprende?

La literatura educativa ha abundado en la descripción de dichos conocimientos previos sobre un gran número de tópicos científicos (véase, por ejemplo, Pfundt y Duit; 1994; Hierrezuelo y Montero; 1991), a los que ha denominado de muy diferentes formas (ideas previas, preconcepciones, ideas intuitivas, concepciones espontáneas, marcos alternativos, etc.) y asignado distintas propiedades, algunas de las cuales podrían ser:

- * Se diferencian de un modo significativo de las contruidas por la Ciencia para describir los fenómenos naturales, variando desde aproximaciones groseras hasta claramente erróneas o confusas.
- * Poseen un carácter implícito, sólo activadas por el sujeto cuando se le enfrenta a situaciones que inducen a su utilización.

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA DIDÁCTICA...

- * No suelen variar sustancialmente entre sujetos de contextos socioculturales diversos.
- * Son profundamente resistentes al cambio con la edad y la instrucción.
- * En determinados casos se ha comprobado una cierta analogía con la evolución experimentada por los conceptos científicos en su devenir histórico.

La primera consecuencia que se deriva de este conocimiento previo dotado de estas propiedades es que evidencia una situación harto preocupante, tanto desde el punto de vista didáctico como social, puesto que una lectura rápida de tal situación nos enfrenta a una sensación de pérdida de tiempo, esfuerzo, recursos económicos, que no han conseguido un aprendizaje real por parte de los alumnos de los cursos de Ciencias. Una segunda consecuencia sería que, no sólo resulta frustrante la esterilidad de la enseñanza «oficial», sino que ese conocimiento previo actúa como un profundo obstáculo para el nuevo aprendizaje.

No menos interés posee el intento de explicar la naturaleza de tales concepciones espontáneas, aunque la tarea presenta una complejidad enorme por cuanto interviene, no sólo la información recibida por los individuos, sino también el procesamiento que efectúan sobre la misma. De cualquier modo no es difícil aventurar un múltiple origen para tal conocimiento:

- * Intrínseco, debido a factores intelectuales de los individuos (por ejemplo, nivel de desarrollo cognitivo, estilo cognitivo, metacognición, etc.) y actitudinales (atención prestada a determinada información).
- * Extrínseco, que abarcaría desde el propio conocimiento escolar hasta el proporcionado por los medios de comunicación de masas.

Asimismo habría que mencionar la capacidad individual de establecer analogías entre los contenidos desconocidos y los conocidos con anterioridad (Pozo y col., 1991).

Por último, cabría detenerse en los mecanismos que pueden conducir a la identificación de ese conocimiento previo, es decir, a los instrumen-

tos de diagnóstico. En general, se han utilizado las clásicas herramientas evaluativas tales como los tests de elección múltiple o más restringidos como las entrevistas individuales, obteniéndose una información que indudablemente depende, no ya sólo del propio instrumento, sino del contexto de la tarea que se requiere resolver (Marín; 1995), lo que añade, si cabe, más incertidumbre a los resultados obtenidos.

b) La segunda interrogante debiera poseer una respuesta dentro del ámbito psicológico, aunque se dista aún mucho de poder resolverla de un modo satisfactorio, recurriendo a la elaboración de modelos que avanza hipótesis explicativas sobre cómo se genera el aprendizaje de los alumnos.

Desde la óptica constructivista se ha recurrido a distintas teorías psicológicas, especialmente las relativas a los trabajos de Piaget y Ausubel, tomados de un modo bastante literal, o se han reelaborado mediante modelos que han intentado explicar la génesis del denominado cambio conceptual, esto es, concibiendo el aprendizaje del alumno como la evolución desde sus concepciones iniciales hasta las concepciones científicas. Algunas de ellas son debidas a Hewson (1981), Posner (1982), Osborne y Wittrock (1983) o Pozo (1987).

c) La tercera pregunta que se desea responder ha sido la vertiente del modelo más descuidada, lo que cabe comprender debido a su juventud. Con ella se pretendería contrastar las previsiones del modelo deducidas de las recomendaciones de los autores de aportaciones en los dos apartados anteriores (Perales; 1988, fig. 1) con su viabilidad en las aulas. Hay que reconocer, no obstante, el esfuerzo realizado durante los últimos años en esta dirección y los resultados logrados que han sido informados en la literatura, en su mayoría favorables a la consecución del cambio conceptual buscado. Ello no implica la existencia de un consenso en torno a cómo debiera articularse la instrucción, sino sólo en los objetivos que se desean alcanzar, lo que posibilita una gran disparidad de metodologías que van, desde la enseñanza transmisiva compatible con la psicología ausubeliana, a la metodología por investigación sobre la que se incidirá seguidamente.

2. Papel asignado a la resolución de problemas

- * Los problemas deben jugar un papel esencial en el aprendizaje conceptual.

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA DIDÁCTICA...

- * Su enunciado y resolución deben estar conectados con la experiencia previa del sujeto (p. ej., problemas del entorno próximo).
- * El objetivo fundamental del problema será facilitar el cambio conceptual:
 - Articulando el propio alumno sus ideas previas (el problema como «diagnóstico»).
 - Contrastando sus ideas previas con las explicaciones científicas (el problema como actividad para el «cambio conceptual»).
 - Aplicando las nuevas ideas (el problema como «consolidación del cambio conceptual»).
- * En una extensión de la noción de cambio conceptual, también debería servir la resolución de problemas para un cambio de estrategias o metodológico, desde las espontáneas puestas de manifiesto habitualmente por los alumnos, a las heurísticas más propias del ámbito de resolución científica.

Modelo por investigación.

Durante los últimos años, en un intento de salvar algunos de los inconvenientes y limitaciones de los presupuestos constructivistas ya expuestos y, por otra parte, recuperar los elementos más positivos del Modelo por Descubrimiento, viene abriéndose paso el Modelo por Investigación (Gil, 1993).

1. Características

Según éste, la actividad docente debería integrar las pautas de trabajo que tienen lugar en la investigación científica habitual y que han permitido, en buena medida, alcanzar el nivel de desarrollo que hoy día la Ciencia ostenta. Esto no supone someterse a los rígidos patrones que se han intentado atribuir al método científico en la Epistemología tradicional sino, como se ha adelantado, extraer algunas características mínimas de este quehacer investigador:

- * La investigación se plantea sobre problemas significativos para el grupo de trabajo, ya sean de carácter teórico o práctico.

- * El investigador novel trabaja bajo la dirección y supervisión del investigador principal.
- * La labor investigadora implica recurrir a distintas fuentes: explicaciones del investigador principal, búsqueda y consulta de bibliografía, entrevistas, visitas, etc., así como poseer habitualmente una dimensión práctica: diseño de dispositivos experimentales, calibrado de los mismos, recogida y tabulación de datos, utilización de paquetes estadísticos, etc.
- * La investigación está orientada por unas hipótesis derivadas de investigaciones previas o de la fase informativa y que habrán de contrastarse.
- * El informe final de la investigación debe ser evaluado frente a expertos externos al grupo (tribunales de tesis doctorales, editores y asesores de revistas, etc.).

Estas características no pueden ser naturalmente extrapoladas de un modo mimético al campo didáctico, dadas las notables diferencias que separan a uno y otro ámbito de actuación, pero sí es posible extraer algunas consecuencias aplicadas de notable interés:

- * La enseñanza-aprendizaje de la Ciencia se convierte en una actividad con unos objetivos claros y explícitos para los alumnos, en la medida en que se intentan resolver problemas significativos para ellos, ya sea en razón de sus conocimientos previos, peso social, potencialidad para explicar otros fenómenos, etc.
- * Este modo de trabajo aproxima al alumno al quehacer científico normal y, por tanto, destierra el modelo didáctico tradicional consistente en presentar la Ciencia como un contenido estático y cerrado.
- * Sirve de aglutinante para el aprendizaje de las tres dimensiones básicas del conocimiento: conceptos (leyes, teorías, principios), procesos (destrezas y habilidades) y actitudes (normas, creencias, valores, hábitos), de un modo natural y dinámico.

2. Papel asignado a la resolución de problemas

- * La Ciencia se considera como un empresa fundamentada en la resolución de problemas.

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA DIDÁCTICA...

- * El problema representa el núcleo de la investigación, lo que implica que la enseñanza ha de plantearse en torno a interrogantes cuya respuesta ha de ser investigada.
- * La resolución de problemas se convierte así en ocasión para el cambio conceptual, el aprendizaje de procesos y la adquisición de actitudes derivadas de la propia investigación.
- * La resolución de problemas difuminaría las diferencias entre las actividades docentes clásicas: clases teóricas, clases de problemas y experiencias de laboratorio.
- * En esa línea, la resolución de problemas englobaría esencialmente y, bajo la dirección del profesor, el trabajo individual, el grupal y la comunicación de los resultados.

¿CÓMO MEJORAR EL PROCESO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL AULA?

No es fácil dar una respuesta unívoca a este interrogante, pero sí se pueden aportar algunas propuestas que salven los defectos clásicos comentados con anterioridad, lo que abordaremos en función de la variable sobre la cual se puede actuar:

Naturaleza del problema.

Deberían combinarse, en una proporción adecuada, problemas de aplicación directa («ejercicios») para la verificación de leyes, cálculos matemáticos, unidades, etc.; problemas cuantitativos de una mayor complejidad; y problemas cualitativos que implican habitualmente la interpretación científica de fenómenos naturales y contemplando asimismo la inclusión de problemas abiertos (con más de una solución y con un carácter creativo).

Enunciado del problema.

Este debería ser expresado con un lenguaje fácilmente comprensible para los alumnos e incluyendo las explicaciones adicionales, verbales y

gráficas adecuadas. Asimismo, deberían graduarse los datos o «pistas» precisas para el hallazgo de la solución de un modo decreciente. En cualquier caso los problemas deberían estar referidos a fenómenos reales y con datos verosímiles.

Metodología de resolución del problema.

Naturalmente, el éxito de la resolución de problemas depende de distintas variables que afectan, tanto al problema en sí, como al solucionador, al instructor y al contexto de la resolución. Por consiguiente, resulta difícil y arriesgado prescribir recetas mágicas para el logro de dicho éxito, aunque sí podemos enunciar algunas recomendaciones de carácter genérico:

- * La resolución de problemas debe ser afrontada, preferentemente, de un modo individual o de pequeño grupo, resultando bastante estériles las resoluciones pasivas y colectivas o su lectura simple a través de los libros de problemas.
- * No debe olvidarse que la mejor garantía de éxito para resolver correctamente problemas es un profundo conocimiento teórico.
- * La resolución de problemas en los distintos tópicos científicos debería ser enmarcada en procedimientos de carácter lo más general posible (por ejemplo, dentro de la Dinámica a través de los Principios de Newton), evitando recurrir a resoluciones esencialmente específicas de cada problema, lo que puede producir entre los alumnos una reacción desalentadora al pensar que la Ciencia es incapaz de disponer de procedimientos de resolución generales.
- * De forma colectiva, el profesor puede prescribir y ensayar algunas secuencias de trabajo, cuyo origen hay que hallarlo en los trabajos de Polya (1945) y que hemos adaptado del modo siguiente (Perales, 1994):

I. *Información previar.*

- * Leer detenidamente el enunciado y anotar las dudas o posibles interpretaciones del mismo.

- * Escribir los datos, las incógnitas y las condiciones previstas en los apartados del problema.
- * Utilizar un sistema de unidades coherente, haciendo para ello los cambios de unidades pertinentes.
- * Preguntarse sobre las partes de la materia que están implicadas en la resolución.

II. *Elaboración de un plan de resolución.*

- * Tratar de materializar la información suministrada, por ejemplo, utilizando la representación gráfica.
- * Escribir los conceptos básicos que están implicados.
- * Compararlo con otros problemas ya resueltos con anterioridad.
- * Establecer las hipótesis precisas para la resolución.
- * Reproducir las ecuaciones que deberían ser utilizadas e identificar las magnitudes presentes con los datos de que se dispone.
- * En caso de no conocer la resolución, acometer un problema más sencillo dejando constancia de las hipótesis introducidas para ello.

III. *Resolver el problema.*

- * Resolver las ecuaciones.
- * Resaltar la solución o soluciones del problema con sus unidades pertinentes.

IV. *Revisión del proceso.*

- * Verificar el proceso seguido: ecuaciones, cálculos matemáticos, solución, unidades...
- * Si se cree que existen otras formas alternativas de resolución, enunciarlas.

¿Cómo acometer la resolución de problemas por investigación?

Existen dos formas alternativas de conseguirlo: convirtiendo los problemas cuantitativos en actividades abiertas o problema tizando la actividad de enseñanza-aprendizaje. Comentémoslas brevemente:

- * En el primer caso, se trata de transformar los enunciados de los ejercicios o problemas cuantitativos en problemas cualitativos que induzcan a abordar su resolución como «pequeñas investigaciones», dotando, asimismo, al problema de una mayor significación para el alumno. Así, por ejemplo, algunos problemas habituales de cinemática del punto móvil podrían reconvertirse en problemas cotidianos como el siguiente: « **Vamos a afra vesar una calle de circulación rápida y vemos venir un coche: ¿pasamos o nos esperamos?** » (Gil y col., 1993).
- * En segundo lugar, es el propio problema el que debe guiar toda la acción didáctica, con lo que la trilogía teoría-trabajos prácticos-problemas queda diluida en el objetivo común de investigar la resolución del problema planteado. A este planteamiento responde la siguiente propuesta:

«El aislamiento acústico y térmico es un factor esencial para la calidad de una vivienda y para el ahorro energético. ¿Qué factores y materiales permiten optimizarlo?»

En uno y en otro caso la enseñanza podría organizarse siguiendo los planteamientos del modelo didáctico por investigación al que aludimos anteriormente, aunque, naturalmente, exigiría un estimable grado de dedicación personal, temporal, material, ... Una propuesta viable sería el que los alumnos desarrollaran la investigación de problemas abiertos durante el transcurso del año académico, de un modo paralelo a las clases habituales y estableciendo un proceso tutorial del profesor para su seguimiento.

¿CÓMO EVALUAR EL APRENDIZAJE MEDIANTE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS?

Para finalizar, quisiéramos referirnos al papel de la resolución de problemas en la evaluación del aprendizaje. En este sentido, no debe resultar una excepción este elemento didáctico dentro de los nuevos aires que

también soplan para la evaluación y que la han enriquecido de modo notable, haciéndola pasar desde un instrumento coercitivo a un potente impulsor del aprendizaje. Vamos a ir proponiendo distintas formas de utilizar la resolución de problemas en el contexto de los diferentes modos de evaluación que se vienen manejando en la literatura educativa:

Evaluación inicial.

Los problemas se conciben aquí como un medio de diagnóstico de los conocimientos y habilidades previas de los alumnos, para lo cual serían útiles los problemas cualitativos centrados en situaciones cotidianas o significativas para los alumnos.

Evaluación formativa.

Los problemas son considerados como instrumento de aprendizaje durante el proceso de instrucción, en cuyo caso sería deseable utilizar problemas de distinta naturaleza con el fin de satisfacer distintos objetivos instructivos: problemas cualitativos/cuantitativos, cerrados/abiertos.

Evaluación sumativa.

Los problemas se entienden como controles del aprendizaje. Evidentemente su número debe ser limitado dado el escaso tiempo con que se dispone para las pruebas; por ello los problemas han de ser cuidadosamente seleccionados en cuanto a ciertas variables, tales como la claridad del enunciado, la renuncia a problemas-tipo, la valoración preferente del proceso de resolución sobre la obtención de una solución correcta o la relajación del ambiente de examen. Asimismo se hará especial hincapié en la discusión y revisión posterior de los problemas solucionados por parte de los alumnos. Tampoco debería descartarse el permitir resolver determinados problemas haciendo libremente uso de material de consulta por parte de los alumnos.

Evaluación criterial.

A fin de poder integrar este nuevo enfoque evaluador se deben establecer previamente a la realización de las pruebas establecidas los

«criterios de calidad» de las respuestas previstas, de acuerdo especialmente con los objetivos instructivos que se planteen (expresión correcta de las unidades, representación gráfica de los fenómenos, elaboración de hipótesis, etc.).

BIBLIOGRAFÍA

Gil, D. (1993). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 11(2), 197-212.

Gil, D. y col. (1993). Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos venir un coche: ¿pasamos o nos esperamos? (un ejemplo de tratamiento de situaciones problemáticas abiertas). *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales!*, 71-80.

Hewson, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3, 383-396.

Hierrezuelo, J. Y Montero, A. (1991). *La ciencia de los alumnos*. Elzevir, Vélez-Málaga).

Joyce, B. Y Weil, M. (1985). *Modelos de enseñanza*. (Anaya, Madrid).

López-Rupérez, F. (1991). *Organización del conocimiento y resolución de problemas de Física*. (CIDE, Madrid).

Marín, N. (1995). *Metodología para obtener información del alumno de interés didáctico*. (Servicio de Publicaciones, Universidad de Almería).

Osborne, R.J. y Wittrock, M.C. (1983). Learning science: a generative process. *Science Education*, 67, 489-508.

Perales, F.J. (1988). La instrucción científica en el marco de un modelo constructivista para la enseñanza. *Revista de Educación de la Universidad de Granada!*, 115-133.

Perales, F.J. (1994). Enseñanza-aprendizaje de una heurística en la resolución de problemas de Física: un estudio cuasiexperimental. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado!*, 201-209.

Pfundt, H. Y Dut, R. (1994). *Bibliography. Students' alternative frameworks and science education*. (Institute for Science Education, Kiel).

Polya, G. (1945). *How to solve it*. (Princeton University Press, New Jersey). Traducción española: *Cómo plantear y resolver problemas*. (Trillas, México, 1965).

Posner, J.G. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

Pozo, J.I. y Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿qué cambia en la enseñanza de la ciencia?. *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.

Pozo, J.I. y otros (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 83-94.

Pozo, J.I. y otros (1994). *La solución de problemas*. (Santillana, Madrid).

