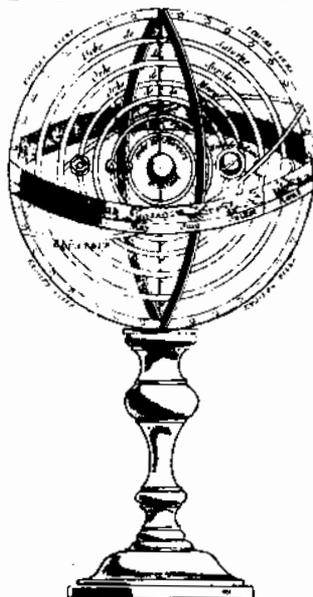


OTROS TRABAJOS



EL APRENDIZAJE DE LA FISICA COMO INVESTIGACION. UN EJEMPLO DE APLICACION EN LA ENSEÑANZA MEDIA*

GUTIERREZ MUZQUIZ, F.A. y RODRIGUEZ BARREIRO, L.M.
Instituto de Bachillerato «Marco F. Quintiliano» de Calahorra (La Rioja)
Instituto de Bachillerato «San Alberto Magno» de Sabiñánigo (Huesca)

(*) Resumen de la ponencia presentada en el II Encuentro sobre Aspectos Didácticos de Física, organizado por el ICE de la Universidad de Zaragoza - Septiembre 86.

SUMMARY

As being really conscious that theory always leads to practice in every science, we support the idea of the planning of the lesson as a link between the educational theory and the teaching style in the classroom. According to this idea, and against the pedagogy by the objectives as a method of planning the lesson on the one hand, and empiricism as a form of research on the other, we present the psychological and methodological bases of our project.

1. INTRODUCCION

Este trabajo gira alrededor de algunos de los aspectos más importantes de la labor didáctica que todo profesor desarrolla: la programación y el enfoque de enseñanza.

En nuestra opinión, la programación ha de ser un puente entre los planteamientos teóricos y la acción, lo que significa que la práctica del profesor no ha de estar tan solo bien fundamentada, sino que de la misma han de

derivarse problemas que vayan perfeccionando progresivamente la teoría educativa. Se configura así lo que se ha dado en llamar modelo del profesor como investigador en el aula. En palabras de uno de los máximos exponentes de esta línea (Stenhouse, 1984): «Lo deseable en innovación educativa no consiste en que perfeccionemos tácticas para hacer progresar nuestra causa, sino en que mejoremos nuestra capacidad de someter a crítica nuestra práctica a la luz de nuestras creencias y nuestras creencias a la luz de nuestra práctica».

No obstante, durante las últimas décadas, y aun hoy en nuestro país, la programación se ha entendido casi exclusivamente como el eslabón entre un listado de temas y su enseñanza en el aula. Esta concepción ha convertido al profesor en un mero distribuidor de contenidos —que le han sido marcados previamente por instancias ajenas a él— durante un tiempo prefijado. Este tipo de programación, que surgió como un intento de elevar la eficiencia de la institución escolar, ha terminado por constituirse en lo que actualmente se denomina «paradigma de la pedagogía por objetivos».

Este planteamiento supone una visión tecnicista del diseño que, aunque útil para la adquisición de destrezas, resulta de aplicación muy limitada si se tiene una idea de la enseñanza que vaya más allá de la simple instrucción (Gimeno, 1982).

Por otra parte, creemos que los enfoques utilizados regularmente en la enseñanza de las ciencias han estado marcados por un excesivo inductivismo. Esta actitud se refleja tanto en la inmensa mayoría de los libros de texto, como en la posición adoptada por el profesorado ante la cuestión; y todo ello a pesar de que a este empirismo extremo, comparado con otras teorías de la ciencia más modernas, cada vez le ha resultado más difícil arrojar nueva e interesante luz sobre la naturaleza de la ciencia, hecho que llevó a Lakatos a afirmar que «el programa estaba en vías de degeneración» (Chalmers, 1984).

Frente a esta postura, nuestra propuesta supone un verdadero cambio metodológico. Para ello, hacemos uso de lo que la comunidad de investigadores acepta en la actualidad como método científico (Bunge, 1983). En particular, conviene resaltar que la ciencia no comienza con la observación, sino que toda actividad investigadora se inscribe dentro de un marco teórico o paradigma. (Para una mayor profundización en estos temas, véase Gutiérrez y Rodríguez, 1986).

2. BASES PSICOLÓGICAS DEL MODELO PROPUESTO

2.1. La epistemología genética de Piaget

La teoría de Piaget permite explicar las relaciones del hombre con el medio desde dos puntos de vista: estático y dinámico (Flavell, 1984). En el primer caso, Piaget concibe el conocimiento humano como una forma específica de adaptación biológica de un organismo

complejo a un medio también complejo. Pero se trata de un sujeto que conoce la realidad de un modelo sumamente activo: selecciona e interpreta la información proveniente del entorno en lugar de copiarla pasivamente.

Por consiguiente, el conocimiento, como cualquier otra forma de adaptación biológica, presenta dos aspectos simultáneos y complementarios que el psicólogo suizo denomina asimilación y acomodación. La asimilación supone la incorporación del objeto externo a esquemas mentales previos del sujeto; la asimilación permite reconocer o identificar los objetos o sucesos nuevos merced a su puesta en relación con el contenido de los esquemas ya existentes; en esta teoría, conocer algo es asimilarlo a un esquema.

Cuando la complejidad del objeto de conocimiento sobrepasa la del esquema al que este objeto se remite o cuando la complejidad de lo real es superior a la de los esquemas que lo representan, se produce la denominada asimilación deformante. Esto provoca cierto desequilibrio y tienen lugar actos tendentes a modificar los esquemas o a crear esquemas nuevos; esta actividad mental recibe el nombre de acomodación (Palacios y Ramírez, 1981).

Pero la teoría de Piaget también es capaz de explicar el desarrollo cognitivo. Mientras el niño intenta acomodarse a algunas propiedades funcionales desconocidas de objetos relativamente nuevos para él y conforme intenta asimilar el objeto y sus propiedades a los conceptos y habilidades que ya posee, su mente se ha extendido un poco; esta extensión, a su vez, amplía mínimamente sus posibilidades futuras de asimilación y acomodación.

Los factores clásicamente considerados en la regulación del desarrollo intelectual son tres: la maduración biológica (que va abriendo al organismo nuevas posibilidades a medida que se produce), la experiencia adquirida (es decir, la acción del sujeto sobre el medio físico) y la acción del entorno social (esto es, la acción de los demás sobre el niño) (Koplowitz, 1975). Según Piaget, estos factores no explican un desarrollo secuencial, a no ser que se encuentren en equilibrio mutuo, y, por tanto, debe existir un cuarto factor para coordinarlos en un conjunto coherente y no contradictorio. Este factor es la autorregulación o equilibración, que consiste en una serie de reacciones activas del sujeto en respuesta a las perturbaciones del medio, las cuales pueden ser efectivas o anticipadas en varios grados (Piaget, 1981).

En resumen, la epistemología de Piaget es constructivista en dos sentidos. En primer lugar, la noción de asimilación implica construcción. El conocimiento no es encontrado por el sujeto, sino construido activamente por él a lo largo de su desarrollo. En segundo, la acomodación también implica construcción. Si un nuevo objeto no puede ser incorporado al conjunto preexistente, se hace necesaria la construcción de nuevas ac-

objeto no puede ser incorporado al conjunto preexistente, se hace necesaria la construcción de nuevas acciones que hagan posible tal incorporación, con lo que la estructura previa se modifica y enriquece.

Aunque el mecanismo del desarrollo es el mismo en todas las edades, el repertorio de esquemas va cambiando y va dando lugar a estructuras diferentes según la edad. En consecuencia, para entender mejor el progreso de las conductas es conveniente distinguir estadios en el desarrollo (Del Val, 1983). La población escolar de 11 a 16 años estaría distribuida entre los siguientes estadios psicoevolutivos propuestos por Piaget (Shayer y Adey, 1984):

- 2A : nivel inicial de las operaciones concretas
- 2B : nivel avanzado de las operaciones concretas
- 2B / 3A : nivel de transición
- 3A : nivel inicial de las operaciones formales
- 3B : nivel avanzado de las operaciones formales

Carecemos de espacio para detallar las características de los distintos niveles. El lector interesado puede acudir a cualquier texto especializado (Gutiérrez, 1984).

2.2. Nuevas aportaciones a la teoría de Piaget

Se trata de presentar el estado actual de la cuestión, para lo cual nos atendremos a lo expuesto por Carretero (1985).

(1) Respecto a los estadios, hoy se piensa que existe una mayor variabilidad de la que suponían las concepciones clásicas. Cada niño construye su perfil evolutivo de una manera peculiar como fruto de la interacción entre su programa madurativo propio (que en unos sujetos puede ser más rápido que en otros) y el medio ambiente concreto en el que tal programación se despliega (que en unos casos puede ser más estimulante que en otros). Estas diferencias son tanto más ostensibles cuanto más nos alejamos de la primera infancia (Palacios, 1986). Esto no significa que la enseñanza no deba respetar el desarrollo del niño, obligándole a realizar adquisiciones para las que en absoluto está capacitado, sino que, además, debe considerar, como decía Vygotski, que los buenos aprendizajes dan lugar a desarrollo. De este modo, los tests estandarizados para la determinación del nivel operacional han de servirnos tanto para saber dónde se encuentra el alumno, como para vislumbrar hasta dónde se le puede llevar con los métodos adecuados.

(2) Otro punto de interés, relativamente menor después de lo comentado en el párrafo anterior, es el de la edad a la que se alcanza el pensamiento formal. Aunque Piaget (1978) retrasó la fecha de adquisición hasta los 15-20 años, estudios posteriores han mostrado que a estas edades no es fácil que más del 50% de los sujetos resuelvan tareas formales.

Destaquemos los trabajos de Shayer y Adey en Inglaterra, para los que la distribución por niveles en una clase «media» constituida por 30 alumnos de diferentes edades, asumiendo una distribución al azar y una política de admisión abierta, sería la siguiente:

(3) Siguiendo con el pensamiento formal, un problema de gran importancia es el de la familiaridad del sujeto con la tarea por resolver. Según Piaget, cuanto mayor fuera aquélla, más fácil debería ser la resolución de ésta. Sin embargo, las últimas investigaciones parecen señalar lo contrario: en ocasiones las experiencias cotidianas anteriores con una tarea dada pueden dificultar su resolución, dado que las ideas intuitivas son muy difíciles de cambiar.

Este aspecto ha cobrado recientemente un gran interés en los estudios sobre aprendizaje y enseñanza de las ciencias (Solís, 1984), en tanto que presentan implicaciones en el diseño de los programas, en las estrategias de enseñanza-aprendizaje y en la formación del profesorado de ciencias.

Según Osborne y Wittrock (1983), las ideas intuitivas presentan las siguientes características:

- No son, en general, congruentes con los conceptos, leyes y teorías que los alumnos tienen que aprender.
- Constituyen un esquema conceptual coherente, con amplio valor explicativo.
- Son muy resistentes al cambio; pudiendo permanecer aun después de varios años en contacto con las asignaturas. Además, cuando se produce el cambio, éste no tiene por qué coincidir con lo previsto por el profesor.
- Interfieren en el aprendizaje de las ciencias, siendo en parte responsables de la dificultad que encuentran los alumnos en estas asignaturas, de rendimiento inferior al de otras áreas.

(4) Ya se ha señalado que los sujetos difieren en su capacidad para resolver tareas formales según el grado de familiaridad que posean con las mismas. Veamos ahora que también existen diferencias en función del modo en que procesan la información. Nos estamos refiriendo a los estilos cognitivos, más concretamente a la dependencia-independencia de campo. Se entiende por DIC la capacidad para procesar la información con un alto grado de independencia con respecto al campo perceptivo externo.

En un principio, se consideró lógico el fracaso de los sujetos DC en las tareas formales. Sin embargo, los neopiagetianos explican hoy las diferencias entre ambos tipos de alumnos por lo que denominan «aspectos engañosos», es decir, por la falta de estructura y organización interna de la tarea.

En resumen, los sujetos DC presentan un problema de actuación, no de competencia, y lo único que requie-

ren para comportarse al mismo nivel que los IC son propuestas de trabajo correctamente estructuradas y organizadas.

(5) En lo que se refiere al lenguaje, la posición actual contradice abiertamente la mantenida por Piaget, ya que se cree que él mismo tiene una clara y directa influencia en la adquisición del pensamiento formal.

3. MODELO QUE SE PROPONE

El modelo de programación y enseñanza que proponemos pretende ser una síntesis de lo que algunos autores (Gimeno, 1982) han denominado «orientación racionalista» y «orientación psicológica» (piagetiana).

La perspectiva racionalista mantiene el principio de que la selección de los contenidos viene marcada por la propia estructura interna de cada disciplina. En principio, dicha estructura está formada por un conjunto ordenado de conceptos, leyes y teorías que organizan nuestra experiencia y pensamiento y por una serie de técnicas y métodos para producir y validar el conocimiento. Dado que las disciplinas son el mejor modo de conocer el mundo que nos rodea, parece evidente que han de ser la base para la selección y organización de los contenidos académicos. Sin embargo, a esta visión, un tanto aséptica y formal, se debe añadir una nueva característica. La producción del conocimiento, los criterios de validación y, sobre todo, las orientaciones de investigación científica y aplicación tecnológica se encuentran estrechamente vinculados a las necesidades e intereses de una formación social peculiar. Esta formación social es en gran parte responsable de lo que se produce, de cómo se produce y utiliza el conocimiento científico y de por qué no se produce otro tipo de conocimiento; en consecuencia, a los conceptos y métodos se debe añadir la vinculación entre estructura social y producción científica para completar lo que entenderemos por estructura interna de la disciplina.

Ahora bien, si se quiere que se produzca un aprendizaje significativo, habrá que tener en cuenta el enfoque psicológico. No basta con seleccionar una serie de contenidos, correctamente estructurados y secuencializados, sino que es necesario, además, establecer el nivel conceptual de los mismos. Para decidir sobre esto último, el profesor necesita, en primer lugar, conocer cuál es el estadio de desarrollo de sus alumnos —para lo que dispone de tests estandarizados (NFER, 1979)— y, en segundo lugar, clasificar y evaluar los contenidos de acuerdo con su demanda intelectual —para lo que dispone también de las taxonomías adecuadas (Shayer y Adey, 1984)—.

Una vez fijados los contenidos y su nivel, el siguiente paso es la elección del método concreto de enseñanza que se va a utilizar en el aula. Nuestra propuesta reside en la adopción de la llamada pedagogía por «redescubrimiento orientado» (Gil, 1982/83), por ser la que,

en nuestra opinión, mejor integra las ideas antes citadas. En ella se parte de las ideas intuitivas del alumno y mediante un proceso fundamentado en la metodología científica, se intenta colocar a los alumnos en situación de «construir» por sus propios medios (y a través de actividades en pequeños grupos) los conceptos, leyes y teorías de la Física. Las razones que nos han llevado a la elección de dicha pedagogía son las siguientes:

(1) Está de acuerdo con la visión constructivista del aprendizaje, en tanto que posibilita las interacciones del sujeto con el medio, lo que favorece la aparición de conflictos cognitivos y los posteriores procesos de equilibración. Estas interacciones pueden ser de tipo físico (contacto con materiales concretos) y de tipo social (con el profesor y los compañeros).

(2) Tiene en cuenta los esquemas alternativos de los alumnos con el fin de provocar en ellos un cambio conceptual. Para ello, se recomienda utilizar las siguientes estrategias (Driver, 1986):

(a) Identificar las ideas intuitivas de los alumnos mediante el empleo de cuestionarios adecuados, discusiones en grupo, trabajos de laboratorio, etc.

(b) Poner en cuestión las mismas a través de contraejemplos o anomalías, que pueden ser tanto teóricos como prácticos.

(c) Introducir nuevos conceptos. Siempre que sea posible, creemos que lo más adecuado es la realización de una pequeña investigación guiada, la cual, además, permite al alumno tomar contacto con las teorías y los diversos modos de representación (gráficos, matemático, etc). En otros casos, puede servir el comentario de textos históricos, el uso de analogías y modelos, etc.

Con todo, conviene recordar que, según Posner y otros (1982), la sustitución de un concepto intuitivo por otro requiere, no solamente que haya insatisfacción con aquél, sino que el nuevo sea inteligible, verosímil y útil.

(d) Emplear las nuevas ideas en un amplio abanico de situaciones.

(e) Desarrollar técnicas de evaluación que permitan seguir el proceso de cambio conceptual.

(3) Fomenta una actividad de los alumnos coherente con la metodología científica, situación deseable desde que se puso de manifiesto el paralelismo existente entre la evolución histórica de la ciencia —en el sentido de Kuhn (1971)— y la adquisición de las ideas correspondientes en el niño. Esto supone un verdadero cambio metodológico que contribuye al aprendizaje significativo.

(4) Considera la influencia del estilo cognitivo en la resolución de tareas formales. Concretamente, al presentar actividades bien estructuradas, posibilita que los sujetos DC puedan desarrollar correctamente los trabajos propuestos.

Desde otro punto de vista, Ausubel (1981) insiste en lo mismo al decir que «el aprendizaje por descubrimiento será efectivo sólo en la medida en que la situación de aprendizaje esté muy estructurada, simplificada y expertamente programada».

(5) Observa el hecho de que la actividad constructiva del alumno no aparece como una acción individual sino como parte de una actividad interpersonal que la incluye (Coll, 1986).

Existen dos tipos de actividad interpersonal: interacción entre alumnos y profesor-alumno. Respecto a la primera, existen pautas de relación que favorecen la construcción de esquemas, como son las que aparecen en la confrontación de puntos de vista moderadamente divergentes entre los participantes en una tarea, las que surgen del trabajo cooperativo, etc. Respecto a las pautas interactivas profesor-alumno, las de mayor valor educativo e instruccional son aquellas en las que las intervenciones del profesor están ajustadas al nivel de dominio que tiene el alumno de la tarea de aprendizaje.

Finalmente, y como se puede imaginar, la misión del profesor no es la de mero transmisor de conocimientos, sino que su trabajo se manifiesta principalmente en la preparación de las actividades que llevan al alumno en la dirección adecuada (Gil, 1982).

4. EJEMPLO DE APLICACION: ESTÁTICA DE FLUIDOS

Como ejemplo de aplicación se presenta seguidamente el desarrollo de una lección que, en los programas oficiales, figura en 2º de BUP. Su índice es el siguiente:

Estática de fluidos

1. Conceptos previos

1.1. Densidad

1.2. Presión

2. Fluidos en equilibrio

2.1. Presión en los fluidos

2.2. Determinación experimental del principio fundamental de la estática de fluidos.

2.3. ¿Cómo se transmite la presión en un fluido incompresible?

3. Presión atmosférica

4. Sólidos sumergidos en líquidos

4.1. Deducción experimental del principio de Arquímedes

4.2. Equilibrio de cuerpos sumergidos.

La secuencia, tanto de los contenidos como de las distintas actividades propuestas, está de acuerdo con la taxonomía citada en la sección anterior. Dichas actividades no se presentan como algo que necesariamente deba ser trabajado en su totalidad, ya que su puesta en práctica dependerá del nivel cognitivo inicial de los

alumnos y de la evolución que manifiesten durante el desarrollo del tema. A este respecto, estamos de acuerdo con Driver (1986) cuando señala la necesidad de un planteamiento de larga duración para el currículo de Física. El profesor decidirá, entonces, la conveniencia o no de abordar alguna de las tareas 3B.

En cualquier caso, no debe asustarnos el hecho de que alguno de nuestros alumnos no esté todavía en la etapa formal, puesto que, como ya hemos mencionado, puede tratarse de una cuestión de actuación y no de competencia. Bastaría con proponerles los trabajos formales bien estructurados para esperar, en principio, resultados satisfactorios.

Para la elaboración de las actividades se han consultado los siguientes textos: Ayensa y Gutiérrez, 1981; Beltrán y otros, 1976; Benloch, 1984; Calatayud y otros, 1980; Nuffield, 1973.

4.1. Conceptos previos

1.1. Densidad

A1.— Observa estos dos grupos de canicas de masas diferentes, uno de 5 y otro de 15. Igual a la masa de ambos grupos sin utilizar la balanza de platillos.

A2.— Se dispone de dos vasos iguales llenos de agua hasta la misma altura. Se introducen en ellos sendos cuerpos, M y N, de manera que únicamente se puede observar el cambio del nivel de agua. Hecha esta operación, resulta que el nivel del agua que contiene a M es mayor que el nivel de la que contiene a N. Esto es debido a que:

- (a) la forma de M es distinta a la de N.
- (b) la masa de M es mayor que la de N.
- (c) el volumen de M es mayor que el de N.
- (d) el peso de M es mayor que el de N.

A3.— Considera las tres situaciones siguientes, en cada una de las cuales dispones de dos bolas de distinto material:

- (a) tienen el mismo volumen y masas diferentes;
- (b) tienen la misma masa y distinto volumen;
- (c) tienen distinta masa y volumen.

Explica en cada caso cómo puede ocurrir esto.

Comentarios a A1, A2 y A3:

Con estas tres actividades, cuya demanda es 2A, 2B y 2B/3B, respectivamente, se pretende determinar las ideas intuitivas de los alumnos; en particular, si son capaces de conceptualizar la masa, el volumen y la relación masa/volumen.

A4.— Emite una hipótesis acerca de la relación existente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

A5.— Diseña un montaje elemental para la verificación de dicha hipótesis. Indica expresamente la forma de medir el volumen.

A6.— Procede a la realización del experimento. Para interpretar los resultados construye la gráfica masa frente a volumen.

A7.— A la vista de la gráfica obtenida en A6, ¿qué tipo de proporcionalidad existe entre ambas magnitudes? Halla el valor de la constante de proporcionalidad entre masa y volumen. ¿Cuál es su significado físico?

Comentarios a A4, A5, A6 y A7:

Estas cuatro actividades constituyen una pequeña investigación en la que las etapas de la metodología científica se encuentran claramente delimitadas. Su objetivo residiría en afianzar la definición operativa de densidad —demanda 3A.

A8.— Define la unidad de densidad en el S.I. Compárala con otras unidades de densidad que conozcas.

A9.— Halla la masa de una muestra de 1 dm³ de la sustancia empleada en las actividades anteriores.

A10.— La masa de una barra de aluminio es de 1 kg. Calcula su volumen sabiendo que la densidad del aluminio es 2.700 kg/m³.

Comentarios a A8, A9 y A10:

Se trata de que el alumno utilice el concepto de densidad en situaciones diversas.

1.2. Presión

A11.— Sobre un suelo de madera barnizada se colocan una chica con tacones y un elefante. ¿Cuál de los dos hará una marca mayor sobre la madera? (¡Después de todo, hacen falta muchas chicas para tener el peso de un elefante!).

A12.— Sobre una bandeja llena de serrín se coloca un ladrillo macizo en tres posiciones diferentes (correspondientes al apoyo sobre cada una de sus caras). ¿Qué se observa? ¿Por qué?

Comentarios a A11 y A12

Con estas actividades se pretende que los alumnos distingan fuerza de presión, de manera que lleguen a considerar la segunda como fuerza por unidad de superficie —demanda 3A).

A13.— Establece la unidad de presión en el S.I. Busca en los libros otras unidades de presión de interés práctico o uso cotidiano.

A14.— Calcula la presión que un ladrillo de 2,5 kp de peso y de dimensiones 10 x 5 x 24 cm en cada una de las posiciones discutidas en A12.

A15.— (a) Mide tu peso.

(b) Estima la superficie de apoyo de tus pies.

(c) Calcula la presión de tus pies sobre el suelo. Expresa el resultado en pascuales, kp/cm², milibares y atmósferas.

A16.— (a) ¿Por qué son tan largos los esquís? (Nos podríamos ahorrar dinero si los fabricasen más cortos, del tamaño de las botas).

(b) Un pequeño esquimal se ha hundido a través de una delgada capa de hielo. Para salvarle, su padre acude a gatas y se extiende sobre el suelo cuando se acerca a su hijo. ¿Por qué?

Comentarios a A13, A14, A15 y A16:

Se trata de que el alumno utilice el concepto de presión en una amplia variedad de situaciones.

4.2. Fluidos en equilibrio

2.1. Presión en los fluidos

A17.— ¿Qué diferencias encuentras entre un sólido, un líquido y un gas?

A18.— Considera un líquido en reposo contenido en un recipiente. Justifica, a partir de este estado de equilibrio, que el fluido ejerce fuerza, y por lo tanto presión, sobre las paredes y el fondo del recipiente.

A19.— ¿Se te ocurre algún experimento sencillo para determinar la dirección de las fuerzas mencionadas en la actividad anterior?

A20.— Coge un tubo de vidrio con uno de los extremos cerrado mediante una plaquita ligera, la cual se sujeta momentáneamente con un hilo que pasa por el interior del tubo. Introduce el conjunto en un recipiente con agua y suelta el hilo. Modifica la inclinación del tubo. ¿Qué se puede deducir?

Comentarios a A17, A18 A19 y A20:

Se trata, en primer lugar, de conceptualizar la noción de fluido. En segundo lugar, de que el alumno se percate de la existencia de fuerzas y presiones en el interior del fluido y de alguna de sus características (demanda 3A).

2.2. Determinación experimental del principio fundamental de la estática de fluidos.

El estudio de las variaciones de presión en el interior de un fluido resulta de gran interés por las aplicaciones prácticas a las que da lugar. Recordaremos algunas de ellas: las variaciones de la presión atmosférica se utilizan, con otros muchos datos, en la predicción meteorológica; en la navegación aérea se pueden hacer determinaciones de alturas a partir de diferencias de presión; etc.

Conocido el concepto de presión, el problema que nos planteamos es el estudio de las variaciones de la presión en el seno de un fluido de densidad constante en

todos sus puntos (fluidos considerados como incompresibles).

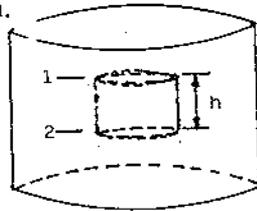
A21.— Son hechos conocidos que la presión atmosférica disminuye con la altura o que la presión del agua aumenta con la profundidad, (un buceador sólo suele descender hasta unos 20 m, un buzo hasta 50 m, un submarino hasta 200 m y un batiscafo, construido con gruesas placas de acero, hasta 10.000 m). Emite hipótesis acerca de los factores de que depende la diferencia de presión ($\Delta p = p_2 - p_1$) entre dos puntos (1 y 2) situados en el interior de un fluido homogéneo.

A22.— Antes de pasar a la contrastación experimental, vamos a realizar algunas deducciones a partir de los conocimientos teóricos que se poseen. En particular, vamos a establecer la relación matemática entre Δp y las variables d , g y h mediante la aplicación de la primera condición de equilibrio a una «porción de fluido» de forma cilíndrica que aislamos mentalmente (ver figura). Para ello:

(a) Dibuja las fuerzas que actúan sobre el cilindro de fluido.

(b) Teniendo en cuenta que las fuerzas sobre las paredes laterales se compensan mutuamente, aplica la primera condición de equilibrio a las fuerzas verticales.

(c) Escribe la ecuación obtenida en (b) en función de las magnitudes p , d , g y h .



A23.— A pesar de que la concepción general del experimento no plantea ninguna dificultad, vamos a limitarnos a la contrastación de la influencia de la profundidad o altura en la diferencia de presión. Diseñar para ello el experimento adecuado.

A24.— Proceder a la realización del experimento interpretando los resultados obtenidos.

A25.— Indicar el campo de aplicabilidad de la expresión $\Delta p = dgh$.

Comentarios a A21, A22, A23, A24 y A25:

Nuevamente podemos hablar de pequeñas investigación, pues entre dichas actividades encontraremos, unido al planteamiento del problema, la emisión de hipótesis (A21 y A22), el diseño experimental (A23), la realización del experimento (A24) y el análisis de los resultados (A24 y A25). La demanda intelectual requerida es 3B.

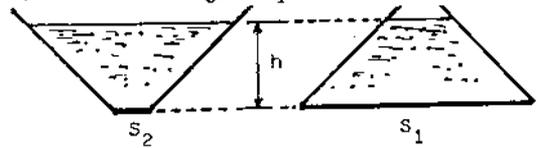
A26.— Suponiendo que la densidad del agua del mar sea $1,045 \text{ g/cm}^3$ calcula la diferencia de presión entre dos puntos del mar separados una distancia vertical de 50 m.

A27.— La presión atmosférica a nivel del mar es 1.000 mb y en la cima del Moncayo es de 707 mb. Suponiendo que la atmósfera sea un fluido homogéneo de densidad $1,3 \text{ kg/m}^3$, calcula la altura del Moncayo.

A28.— Las superficies de los fondos de los recipientes de la figura, que están llenas del mismo líquido, son diferentes ($S_1 > S_2$).

(a) Compara las presiones en los fondos de los recipientes.

(b) ¿En qué recipiente el líquido ejerce una fuerza mayor sobre el fondo? ¿Por qué?



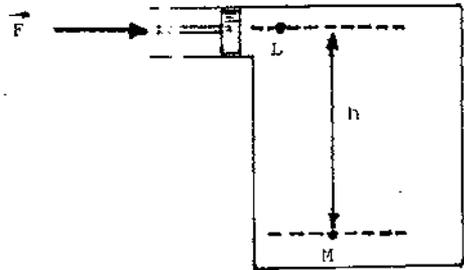
Comentarios a A26, A27 y A28:

Se trata de ejercicios de aplicación del principio fundamental.

2.3. ¿Cómo se transmite la presión en un fluido incompresible?

A29.— Vamos a analizar el comportamiento de un fluido al aplicarle una presión exterior. Este comportamiento es radicalmente distinto del que tendría un sólido rígido en las mismas circunstancias.

Considera el fluido en equilibrio de la figura y dos puntos del mismo, L y M, separados una distancia h.



(a) Escribe a qué es igual la diferencia de presión $p_M - p_L$.

(b) Por medio del émbolo móvil, de superficie S, se ejerce una fuerza F (y, por lo tanto una presión $p = F/S$) sobre el fluido. ¿A qué es igual ahora la diferencia de presión entre los puntos L y M? (Para diferenciar esta situación de la anterior, escribiremos $p'_M - p'_L$).

(c) ¿Cuál es, ahora, el valor de la presión en el punto L, es decir, cuánto vale p'_L ? ¿Y p'_M ?

(d) ¿Qué se puede deducir de las cuestiones anteriores?

Comentarios a A29:

Con esta actividad se intenta que el alumno «descubra» el principio de Pascal (demanda 3B).

A30.— Se dispone de una prensa hidráulica en la que las superficies de sus pistones son S_1 y S_2 , respectivamente. Si se hace una fuerza F_1 sobre el primer pistón, demuestra que la fuerza resultante en el otro pistón es $F_2 = k F_1$ donde $k = S_2 / S_1$.

¿Bajo qué condiciones la prensa hidráulica actúa como una máquina «multiplicadora de fuerza»? ¿Y como «multiplicadora de presión»?

A31.— (a) Busca en algún libro un esquema del funcionamiento de los frenos hidráulicos de un automóvil.

(b) ¿Qué puede suceder si en el líquido de «frenos» de un automóvil se introducen burbujas de aire?

(c) ¿Por qué es tan peligroso perder el líquido de «frenos» de un automóvil?

Comentarios a A30 y A31:

A32.— Lee atentamente el siguiente texto de historia de la ciencia (Landau y otros, 1971; Mason, 1985) y contesta a las preguntas que al final del mismo se formulan.

«Cómo se descubrió la presión atmosférica»

Las bombas impelentes-expelentes se conocían ya en tiempos remotos. Por medio de ellas se podía elevar el agua a grandes alturas: el líquido seguía al émbolo de la bomba con extraordinaria docilidad.

Los filósofos antiguos meditaron sobre las causas del fenómeno y llegaron a la profunda conclusión de que el agua sigue al émbolo porque la naturaleza «teme» al vacío, y, por consiguiente, entre el émbolo y el agua no puede existir espacio libre.

Se cuenta que un arquitecto construyó para los jardines del gran duque de Toscana, en Florencia, una bomba aspirante que tenía que elevar el agua hasta una altura superior a los diez metros. Todos los intentos de aspirar el agua con dicha bomba resultaron vanos; hasta diez metros, el agua seguía fielmente al émbolo, pero a continuación el émbolo se separaba del líquido y se formaba ese vacío que la naturaleza tanto «temía».

Cuando acudieron a Galileo en busca de una explicación del fenómeno, éste respondió que, efectivamente, la naturaleza no ama al vacío, pero sólo hasta cierto punto. Los discípulos de Galileo, Torricelli i Viviani partieron probablemente de este fenómeno cuando en 1643 realizaron su famoso experimento con un tubo lleno de mercurio.

Toricelli y Viviani llenaron un tubo cerrado por un extremo con mercurio e invirtieron el tubo con su extremo abierto inmerso en un recipiente de mercurio. Descubrieron que el nivel de mercurio del tubo bajaba hasta hallarse a unos 76 cm sobre el nivel del recipiente, permaneciendo constante dicha altura tanto si el tubo estaba en posición vertical como si se hallaba inclinado a un lado. Sugirieron que la subida del mercurio del tubo hasta una altura de 76 cm se debía a la presión

de la atmósfera sobre la superficie libre del mercurio del recipiente.

Con este experimento se resolvió la perplejidad de los arquitectos del gran duque toscano. Efectivamente, ahora comprendemos ya hasta qué altura el agua seguirá fielmente al émbolo de la bomba aspirante. Lo hará hasta que el peso de la columna de líquido, de 1 cm² de sección, no supere 1 kp aproximadamente. Esta es la razón de que la naturaleza tema al vacío... pero hasta los diez metros.

En 1648, Blaise Pascual realizó el siguiente experimento. Hizo que su cuñado subiese al Puy de Dôme, en el sur de Francia, con el aparato de Torricelli y Viviani, hallando que la altura de la columna de mercurio decrecía a medida que se ascendía por la montaña.

En 1654, once años después del descubrimiento de Torricelli y Viviani, el burgomaestre de Magdeburgo, Otto von Guericke, demostró de forma evidente la acción de la presión atmosférica, y se hizo famoso más por la forma teatral en que realizó el experimento que por su significado físico. Unió dos hemisferios de cobre mediante una junta anular y a través de una válvula extrajo el aire. Después, ya no era posible separar los dos hemisferios. Se conserva una descripción detallada del experimento de Guericke. Es posible calcular la fuerza asociada a la presión atmosférica en los dos hemisferios: a un diámetro de 37 cm corresponde una fuerza de unos 40.000 N. Guericke ordenó que dos tiros de ocho caballos cada uno tirara de la esfera: los esfuerzos de los animales resultaron inútiles.

(a) Indica cuál es el problema que da origen a la investigación que se narra en el texto.

(b) Enumera las distintas hipótesis que aparecen en el mismo.

(c) ¿Qué experimentos resultan cruciales para aceptar o rechazar las hipótesis?

(d) Comprueba si es o no correcto al valor de la fuerza que se menciona en el experimento de Guericke.

A33.— Extrae el aire de un bidón (o lata de aceite) y observa la acción de la presión atmosférica.

A34.— Introduce un huevo cocido sin cáscara en el interior de una botella de boca estrecha mediante la acción de la presión atmosférica.

Comentarios a A32, A33 y A34:

En la primera actividad, el texto histórico nos permite seguir insistiendo en los aspectos más interesantes de la metodología científica —demanda 3B—. En las otras dos —demanda 2B/3B—, la acción de la presión atmosférica se pone de manifiesto en el momento en que consigamos un cierto vacío en el interior de los recipientes. Un procedimiento sencillo es evaporar un poco de agua (con lo que se crea una zona saturada de vapor de agua), cerrar herméticamente y dejar enfriar

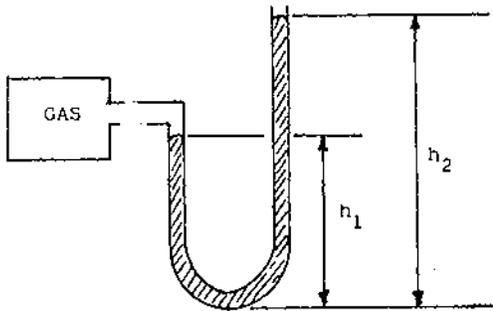
(y al condensarse el vapor se crea un vacío parcial).

A35.— (a) ¿Cuál será la presión que alcanzará un barómetro, en mmHg, un día en el que la presión atmosférica es de 1.008 mb?

(b) Ayer, la presión atmosférica en el aula era de 734 mmHg. Exprésala en milibares.

(c) Expresa las presiones anteriores en pascuales, kp/cm^2 y atmósferas.

A36.— Se utiliza un manómetro de mercurio de tubo abierto para medir la presión de un depósito de gas (ver figura). Sean $h_1 = 50 \text{ cm}$ y $h_2 = 120 \text{ cm}$ las alturas del mercurio en cada una de las ramas del manómetro. Sabiendo que un barómetro próximo marca 75 cmHg, ¿cuál será, en cmHg, la presión del gas?



Comentarios a A35 y A36:

Se trata de utilizar conceptos y leyes vistas anteriormente aplicados al caso de la presión atmosférica.

4.4. Sólidos sumergidos en líquidos

4.1. Deducción experimental del principio de Arquímedes.

Se cuenta que Herón pidió a su pariente Arquímedes que determinara si una corona que acababa de recibir del joyero era realmente de oro puro o si contenía una mezcla de oro y plata. Arquímedes debería hacer la determinación sin dañar la corona. Un día, al meterse en el baño, se dio cuenta de que al agua se desbordaba; se le ocurrió que la cantidad de agua que se desbordaba era igual en volumen a la porción de su cuerpo que estaba metido dentro del baño. Por tanto, si sumergía la corona dentro del agua podría saber, por la subida del nivel del agua, el volumen de una masa igual de oro. Si ambos volúmenes eran iguales, la corona sería de oro puro. Si la corona tenía una mezcla con plata —que es más densa que el oro—, tendría un volumen mayor.

Por otro lado, es un hecho conocido que un sólido sumergido, total o parcialmente, en un fluido parece perder peso, esto es, es empujado hacia arriba.

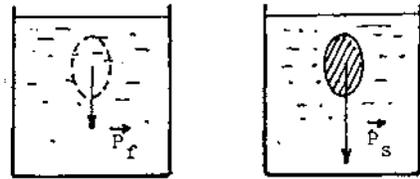
El problema por resolver es, entonces, obtener el valor de la fuerza, denominada fuerza de empuje o simplemente empuje, que el fluido ejerce sobre un sólido situado en su interior.

A37.— Para comprender teóricamente la razón del empuje que experimenta un sólido, consideramos una «porción de un fluido» en equilibrio, limitada por una imaginaria superficie cerrada (ver figura).

(a) Explica por qué dicha porción, sometida por lo menos a la fuerza del peso —peso del fluido: \vec{P}_f — permanece en equilibrio.

(b) Supón ahora que un sólido, de las mismas dimensiones que la porción de fluido considerada en (a) y de peso \vec{P}_s , se sumerge en el mismo lugar (ver figura). ¿Qué fuerzas actúan sobre el sólido? ¿Se obtiene alguna conclusión?

(c) De acuerdo con los resultados de (a) y (b), ¿a qué es igual la fuerza de empuje? ¿Qué hipótesis debe ser contrastada en el laboratorio?



A38.— Diseña, lo más detalladamente posible, un montaje para contrastar experimentalmente la hipótesis emitida en A37. En particular, indica cómo se pueden obtener los valores del empuje, del volumen de fluido desplazado y del peso del fluido desplazado.

A39.— Antes de pasar a la realización del experimento, elabora una tabla en la que se puedan recoger los resultados numéricos.

A40.— Procede a la realización del experimento interpretando los resultados obtenidos.

Comentarios a A37, A38, A39 y A40:

Estas cuatro actividades constituyen una pequeña investigación o investigación guiada. Su demanda intelectual es 3B.

4.2. Equilibrio de cuerpos sumergidos

A41.— Calcula la fuerza de empuje sobre un cuerpo de 2 litros de volumen cuando está completamente sumergido en un líquido de densidad $5 \text{ g}/\text{cm}^3$.

A42.— Un cuerpo de forma irregular pesa 0,784 N. Se introduce en el fluido contenido en una probeta y se determinan dos cosas: el peso aparente del cuerpo (0,588 N) y su volumen (10 cm^3). Calcula las densidades del líquido y del sólido.

A43.— Se coloca un cuerpo de 20 g de masa y $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ de densidad en el seno de un fluido de densidad $1.200 \text{ kg}/\text{m}^3$.

(a) ¿Qué le ocurre al cuerpo: se queda quieto, se hunde o asciende hacia la superficie? ¿Por qué?

(b) Si se queda flotando en la superficie, calcula el volumen de la parte del cuerpo sumergida.

Comentarios a A41, A42, A43 y A44:

Se trata de aplicar el teorema de Arquímedes en un amplio abanico de situaciones.

En este ejemplo podemos encontrar varios tipos de actividades. Sin ánimo de hacer una clasificación de todas ellas, y a título orientativo, se puede indicar lo siguiente:

- Tendentes a la detección de ideas intuitivas: A1, A2, A3
- Pequeña investigación: A21, A22, A23, A24, A25
- Para afianzar un concepto previamente introducido: A13, A14, A15, A16
- Análisis de un texto de historia de la ciencia: A32
- Motivadoras o divertidas: A11, A33, A34

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AUSUBEL, D.P., 1981, *Psicología Educativa* (Trillas: México).
- AYENSA, J.M. y GUTIERREZ, F.A., 1981, *Problemas de Física y Química para Bachillerato* (Edición propia: Calahorra (La Rioja)).
- BELTRAN, J. y otros, 1976, *Física y Química 2º de BUP* (Anaya: Salamanca).
- BENLLOCH, M., 1984, *Por un aprendizaje constructivista de las ciencias* (Pablo del Río: Madrid).
- BUNGE, M., 1983, *La investigación científica* (Ariel: Barcelona).
- CALATAYUD, L. y otros, 1980, *Trabajos prácticos de Física* (ICE de la Universidad de Valencia: Valencia).
- CARRETERO, M., 1985, El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: las operaciones formales. En: Carretero, M., Palacios, J. y Marchesi, A., *Psicología evolutiva: 3. Adolescencia, madurez y senectud* (Alianza: Madrid).
- COLL, C., 1986, Diseño curricular: bases psicológicas. *Cuadernos de Pedagogía*, núm. 139, pp. 12-16.
- CHALMERS, A.F., 1984, *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Siglo XXI: Madrid).
- DELVAL, J., 1983, *Crecer y pensar* (Laia: Barcelona).
- DRIVER, R., 1986, Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 4, pp. 3-15.
- FLAVELL, J.H., 1984, *El desarrollo cognitivo* (Visor: Madrid).
- GIL, D., 1982, *La investigación en el aula de Física y Química* (Anaya: Salamanca).
- GIL, D., 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, pp. 26-33.
- GIMENO, J., 1982, *La pedagogía por objetivos: obsesión por la eficiencia* (Morata: Madrid).
- GUTIERREZ, R., 1984, *Piaget y el currículo de ciencias* (Narcea: Madrid).
- GUTIERREZ, F.A. y RODRIGUEZ, L.M., 1986, *La pedagogía por «descubrimiento orientado»: una propuesta de renovación para la enseñanza de la Física en EE. MM.* *Actas del II Encuentro sobre Aspectos Didácticos de Física* (ICE de la Universidad de Zaragoza: Zaragoza).
- KUHN, Th. S., 1971, *La estructura de las revoluciones científicas* (F.C.E.: México).
- KOPLOWITZ, H., 1975, La epistemología constructivista de Piaget. En: COLL, C. (ed.), 1981, *Psicología genética y educación* (Oikos-tau: Barcelona).
- LANDAU, J. y KITAIGORODSKI, A., 1971, *Física sin secretos* (Doncel: Madrid).
- MASON, S.F., 1985, *Historia de las ciencias, vol. 3* (Alianza: Madrid).
- N.F.E.R., 1979, *Science Reasoning Tasks* (NFER, 2, Oxford Road East: Windsor).
- NUFFIELD, 1973, *Física básica: libro de cuestiones I* (Reverté: Barcelona).
- OSBORNE, R. y WITTROCK, M., 1983, Learning Science: a generative process, *Science Education*, 67, pp. 490-508.
- PALACIOS, J., 1986, ¿Existen estadios en el desarrollo del niño? *Cuadernos de Pedagogía*, núm. 137, pp. 76-78.
- PALACIOS, J. y RAMIREZ, J.D., 1981, Glosario de términos piagetianos. En: *Infancia y aprendizaje. Monografía. Piaget*, pp. 123-142.
- PIAGET, J., 1978, La evolución intelectual entre la adolescencia y la edad adulta. En: DELVAL, J. (comp.), *Lecturas de psicología del niño*, vol. 2 (Alianza: Madrid).
- PIAGET, J., 1981, La teoría de Piaget. En: *Infancia y aprendizaje. Monografía. Piaget*, pp. 13-54.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.N. y GERTZOG, W.A., 1982, Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change, *Science Education*, 66 (2), pp. 211-227.
- SHAYER, M. y ADEY, P., 1984, *La ciencia de enseñar ciencias* (Narcea: Madrid).
- SOLIS, R., 1984, Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 2, pp. 83-89.
- STENHOUSE, L., 1984, *Investigación y desarrollo del currículum* (Morata: Madrid).