

METODOLOGIA Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS FISICAS (*)



Por SEVERIANO GOIG BOTEILA

(Dr. en Ciencias y Catedrático del Instituto «Luis Vives», de Valencia)

NO es posible hacer un estudio exhaustivo de todos los problemas que crea la Metodología y la Didáctica de las Ciencias Físicas durante el tiempo limitado de una conferencia. Había que dedicar a la materia un cursillo sistemático para enfocar en sus lecciones los diversos aspectos de la cuestión, desde los más amplios y generales hasta los más concretos y específico de cada capítulo.

Por eso voy a limitarme a exponer los principios que rigen la metodología seguida en la adquisición de los conocimientos de estas disciplinas, y las orientaciones más adecuadas para su enseñanza, considerando la razón de su presencia en nuestros planes de estudios y su valor educativo en la formación del futuro bachiller.

Todo sistema de educación intelectual persigue una doble finalidad: 1.º, formación de la inteligencia; desarrollo progresivo de las potencias y facultades del espíritu para que alcancen suficiente madurez; 2.º, información cultural adecuada, que coadyuvando con la formación intelectual, capacite al hombre para enfrentarse con cualquier situación en orden al conocimiento y juicio de las cosas.

Durante mucho tiempo se ha subestimado en nuestro país el valor educativo de las Ciencias físicas; la orientación fundamentalmente humanista ha imperado largos años en nuestros planes de estudios, acaso por ser la más acorde con nuestra idiosincrasia espiritual. Pero quizá también, por razones que no es el caso analizar ahora, por nuestro aislamiento del clima intelectual exterior. Simón Abril, en sus *Apuntamientos a Felipe II*, deploraba la carencia de técnicos, "pues España, decía, debe ir a buscar los ingenios a extrañas naciones, con daño grave del bien público". Técnicos extranjeros utilizó también Carlos V, a falta de otros propios (recuérdese a Juanello Turriano).

Pero el exponente más notorio de este aislamiento es el comentario hecho con acento desgarrador por Eugenio d'Ors cuando advierte la ausencia de respuesta española al reto lanzado por Bernouilli a los matemáticos de su tiempo en uno de los problemas que les planteó, siguiendo los usos de comunicación científica de la época.

Ciertamente, no han faltado españoles calificados en las diversas ramas del saber científico: Ulloa, Jorge Juan, Herrera, Casal, Alonso Barba, Bethencourt, Martí, del Río, Cavanilles, los hermanos Elhuyart, el general Ibáñez, y más recientemente Cajal, Boscá, Rey Pastor, Cabrera, Marañón, Torres Quevedo, Palacios, Catalán, Duperrier, Ochoa, etc., y aunque su proporción es pequeña, su existencia revela que nuestra textura mental no es ajena al conocimiento de las Ciencias y sus aplicaciones. Pero es significativo que nuestras personalidades científicas más relevantes hayan mantenido prolongado contacto con el exterior, y que este contacto, extendido e intensificado hoy, se traduzca en el mayor nivel científico de la generación actual.

Frente a la orientación humanista, se han multiplicado en el extranjero los centros y planes de tipo realista y técnico. España ha iniciado un viraje multiplicando sus

(*) Conferencia pronunciada en la Reunión de Profesores de Física y Química del Distrito Universitario de Valencia.

enseñanzas técnicas y el mayor número de alumnos del bachillerato en la opción Ciencias indica una acusada tendencia realista en nuestra juventud.

Pero me temo que un movimiento pendular nos sumerja en el mar de la llamada cultura técnica, e inundados de materialismo, sucumban los valores espirituales de nuestra alma nacional. Por ello considero necesario que en nuestros planes de estudio no se rompa el equilibrio entre las Matemáticas y el Latín, la Literatura, la Historia y la Física, la Filosofía y las Ciencias Naturales.

Dentro de este equilibrio, las Ciencias Físicas desempeñan un papel fundamental en la educación de nuestros estudiantes. En efecto, de las dos fuentes de conocimiento natural accesibles al hombre, la razón y la experiencia, la primera domina casi exclusivamente en la Filosofía y las Matemáticas; la segunda, auxiliada por la primera, en las Ciencias de la Naturaleza. Ahora bien, a los dos tipos de verdades que con ellas pueden alcanzarse, corresponden dos métodos de investigación peculiares, aunque no exclusivos de cada tipo: el deductivo, propio de la especulación apriorística y el inductivo, característico de la investigación experimental.

Es indudable que la lógica deductiva disciplina poderosamente la inteligencia, pues la impele a extraer de los principios, axiomas o postulados, las consecuencias particulares que en potencia contienen. Mas no puede forjarse exclusivamente una inteligencia con especulaciones residentes en el mundo de la abstracción. La abstracción se alcanza cuando la actividad creadora del espíritu generaliza lo concreto, y lo concreto es lo intuitivo, lo directamente accesible a nuestra capacidad de conocer. La Geometría, por ejemplo, crea sus conceptos de línea, punto, superficie, ángulo, etc., abstrayendo nociones experimentales: hilo, cruce de hilos, hoja, pared, etc. Acaso sea, por ello, de todas las Matemáticas, la más asequible a la inteligencia de nuestros escolares, al menos en los primeros años de su enseñanza.

Las Ciencias Naturales extraen sus conocimientos de los seres y hechos del Universo físico. Su metodología requiere una base experimental, pero exige, además, el análisis minucioso de los fenómenos, su depuración metódica y el estudio de la influencia que en ellos ejercen las circunstancias en que se producen hasta encontrar la relación que liga cada una con el efecto resultante. El conocimiento de esta relación, especialmente, cuando las circunstancias y sus efectos admiten valoración numérica, constituye la ley del fenómeno, y el camino para descubrirla no es otro que la experimentación racionalmente dirigida e interpretada. El proceso mental seguido en este caso es fundamentalmente inductivo y su eficacia en el desarrollo de la inteligencia no es inferior a la del razonamiento deductivo. Me atrevería a decir, desde el punto de vista didáctico, que es superior, por ser el método más asequible, en general, a la mente del escolar.

La antigüedad griega, en su predilección por la Filosofía especulativa, desdeñó al principio los conocimientos de orden experimental. Mas la pretensión de conocer el mundo físico por especulación pura condujo a una Ciencia errónea, impregnada de explicaciones primarias, verdaderas tautologías en muchos casos, y saturadas de un realismo ingenuo que aceptaba las apariencias como expresiones auténticas y necesarias de la esencia del Cosmos. Ejemplo, el sistema ptolemaico, el "horror al vacío", la virtud intrínseca del aire (gases) para subir, y de la tierra (sólidos) para bajar, *buscando su lugar natural*, según la doctrina aristotélica. Con arreglo a ella, todo móvil requería la intervención permanente de una causa motora: interna para los movimientos naturales (*motu proprio*), externa para los forzados. De este principio deducía Aristóteles que los graves debían caer en el vacío con movimiento uniforme (movimiento natural) y en el aire con movimiento acelerado (movimiento forzado) y que la velocidad de caída en el vacío había de ser proporcional al peso del grave. Cito estos hechos para hacer ver los errores a que conduce la especulación prescindiendo de la experiencia.

La investigación experimental se inicia en la Escuela alejandrina y continúa en la

Edad Media, con más o menos intensidad, cultivada especialmente por los árabes. Recordemos a Arquímedes, que descubre experimentalmente su principio, la ley de la palanca, y crea la Estática; a Alk hazini, que obtiene en Toledo, en el siglo XIII, la ley de la flotación; a los alquimistas Avicena, Averroes, Basilio Valentín, San Alberto Magno, etc.

Pero es Galileo quien introduce sistemáticamente la experimentación cualitativa y cuantitativa. Con ella, induce principios generales (inercia, independencia de las fuerzas, relatividad del movimiento, etc.), cuyas consecuencias somete, a su vez, a confirmación experimental. La fecundidad del sistema estriba en el doble juego del razonamiento inductivo-deductivo, y este doble juego, continuado sin interrupción en la historia de las ciencias físicas, conduce a elaborar hipótesis plausibles, cuyo valor epistemológico, en el estudio y explicación de los fenómenos, reside más en su utilidad como instrumentos de trabajo que en su certeza intrínseca.

La misma eficacia del sistema para lograr el conocimiento científico es la que comunica a las Ciencias experimentales, particularmente a la física, un valor excepcional en la formación del escolar. Anticipemos que la enseñanza de la Física y de la Química no puede quedar circunscrita a una exposición dogmática de hechos, leyes y principios; semejante método aburre al alumno, le hace antipáticas estas disciplinas y le induce a retener, sin digerir, las ideas que recibe, con el fin exclusivo de poderlas repetir en el acto del examen. Y es evidente que no podemos convertir a los niños en cintas magnetofónicas capaces sólo de reproducir, sin enterarse, lo que en ellas se grabó.

Es necesario despertar y mantener el interés del alumno por la materia que se enseña, y para ello nada mejor que hacerle sujeto activo de la elaboración de sus conocimientos. La enseñanza debe conducirle a crear de nuevo la ciencia que aprende, redescubriendo sus secretos y sus leyes; solo, no podrá hacerlo; guiado por el profesor, sí. La clase dialogada, donde el profesor analiza un hecho experimental, ejecuta un razonamiento, apoya un conocimiento anterior la idea que desenvuelva y deja sacar al alumno la conclusión oportuna, es uno de los instrumentos de enseñanza más eficaces.

Esta clase activa disciplina la mente del escolar sometiéndole a una gimnasia intelectual dirigida por el maestro y despierta en aquél ideas, objeciones u observaciones que aclara éste. La hora de clase es la hora creadora del Profesor: Oersted descubrió en clase el campo magnético de la corriente. Persuadido de que entre electricidad y magnetismo había relaciones indudables, se propuso investigar si la brújula era capaz de desviarse bajo la influencia de una corriente suministrada por una batería de pilas. Las primeras tentativas resultaron infructuosas porque situaba el hilo perpendicular a la aguja; acaso porque durante las manipulaciones advirtiera cierta desviación cuando aquél era perpendicular a ésta, se decidió a colocarlo en posición paralela: inmediatamente surgió la desviación buscada.

Este ejemplo muestra el valor docente de la experimentación cuando se encamina a adquirir un conocimiento interrogando a la Naturaleza. Analicemos desde este punto de vista el experimento de Torricelli: en una cubeta llena de agua hay un tubo de ensayo totalmente sumergido y tumbado en el fondo; enderezamos el tubo, colocándolo boca abajo y subámoslo a la superficie sin extraerlo por completo; los alumnos advierten que el agua no cae, no obstante su peso. Podemos preguntarnos: ¿sucederá lo mismo con otro líquido? Repitamos el experimento con alcohol y luego con mercurio, que es más denso, y obtendremos el mismo resultado: el fenómeno es general para todos los líquidos. Preguntemos ahora: ¿y si el tubo fuera más largo, sucedería lo mismo? Vamos a intentarlo con un tubo de un metro de longitud, mas como no disponemos de vasijas de tamaño suficiente para manipular como antes, llenemos el tubo, tapémosle con el dedo, démosle la vuelta e, introducido en el líquido, quitemos el dedo. Hecho el experimento con agua, el tubo sigue lleno, pero realizado con mercurio, descendiendo algo el líquido sin vaciarse el tubo. Preguntemos de nuevo: ¿no le

sucedería lo mismo al agua si el tubo fuera bastante largo? Seguramente los alumnos responderán que sí; podemos anticiparles que precisaría un tubo de longitud superior a diez metros, pero cabe preguntar: ¿por qué no se vacía el tubo por completo? ¿Quién sostiene a la columna líquida? Oprimamos entonces con la palma de la mano el mercurio de la cubeta y hagamos ver que la columna líquida sube algo. (Fig 1). De ello inferimos que si el líquido no desciende en el tubo es porque alguien empuja su superficie en la cubeta. ¿Quién puede ser? ¿No será el aire? Los alumnos probablemente quedarán persuadidos de que es así, pero sería conveniente

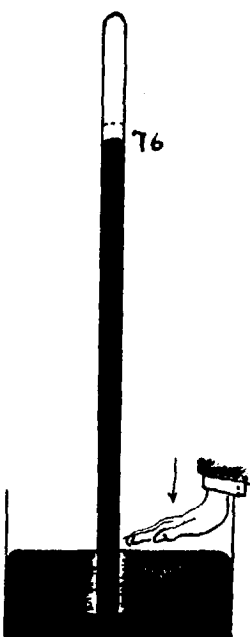


Fig. 1

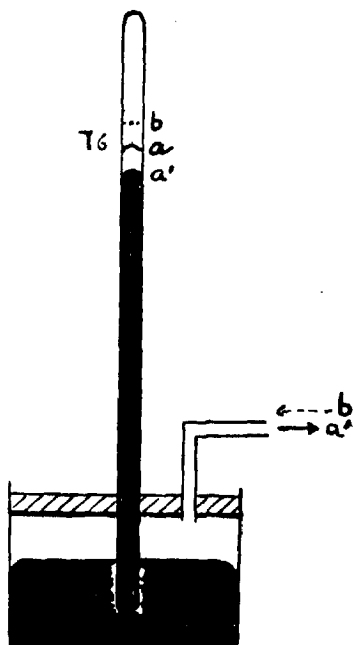


Fig. 2

confirmarlo. ¿No podríamos suprimir el aire que hay encima de la cubeta? Para ello, tapémosla con una rodaja de corcho que ajuste bien, en la cual practicaremos dos agujeros: uno para que la atravesie el tubo que contiene el mercurio, otro para adaptarle un tubito doblado en ángulo recto por el cual aspiremos con la boca el aire de la cubeta después de tapada; hecho esto, la columna de mercurio desciende: indudablemente, el aire empujaba el líquido de la cubeta. (Fig. 2).

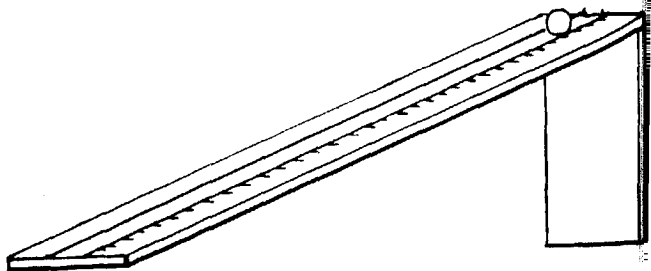
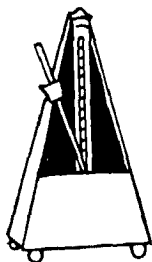
Cabe ahora una serie de cuestiones: ¿Qué sucedería si con un bombín de bicicleta inyectáramos aire en lugar de aspirarlo? ¿Y si lográramos extraerle por completo? ¿Variaría la altura de la columna si la cubeta fuera más ancha?, etc. Dejo a juicio de ustedes extraer todas las consecuencias que se derivan de este análisis experimental; he querido sólo mostrar la superioridad del experimento encaminado a descubrir algo sobre el practicado para confirmar una ley o teoría previamente expuesta. Ya sé que

el primer sistema consume más tiempo, pero es más eficaz, sobre todo si la experimentación es cuantitativa.

Por eso propugno este método, siempre que sea factible. El material necesario particularmente en el curso de iniciación, debe ser sencillo, y si es improvisado, mejor la experimentación espectacular, con aparatos *ad hoc*, tiene cierto aire de prestidigitación que regocija, más que enseña, al alumno, especialmente cuando "no funciona". Pero el fruto obtenido es escaso: el alumno propende a fijar su atención en lo accesorio, descuidando lo esencial, y corre el riesgo de creer que los fenómenos físicos y químicos son privativos de los artificios empleados, cuando en realidad le rodean por doquier.

Por eso considero preferible utilizar la red industrial de corriente para el estudio del montaje de lámparas, como resistencias en serie o derivación, a la suministrada por una batería de pilas o acumuladores. Si precisa reducir la tensión industrial, rectificarla, aconsejamos montar el transformador y el rectificador en un cuadro de distribución, conectándolos a la mesa de modo que en ella aparezcan sólo las tomas de corriente sobre las cuales se montarán los circuitos y los instrumentos de medida.

A veces oímos a algunos Profesores lamentarse de que no pueden dar enseñanza experimental por carecer de aparatos y laboratorios. ¡Pero si los aparatos existen por todas partes!: romanas, poleas, termómetros, espejos, lentes de miope y de presbíta, tornillos, balanzas, pitos, timbres eléctricos, sifones de agua seltz, pies de rey, pianos, etc. Todos pueden utilizarse con ingenio y buena voluntad, pero no es difícil improvisar un pequeño laboratorio con utensilios corrientes: un calorímetro se construye con un bote de hojalata introducido en otro mayor y sostenido por tapones de corcho. Un frasco de boca estrecha destapado sirve de picnómetro; si se desea mayor precisión, servirá un frasco de tapón esmerilado, en el que se practicará una ranura longitudinal con una lima. Como balanzas, bastan las de Roverbal o las automáticas del comercio para pesadas de 200 a 2.000 gr.; para pesadas inferiores son suficientes las granatarías. Los aerómetros se improvisan con tubos de ensayo lastreados con mercurio perdigones; una tira de papel milimétrico pegada dentro a lo largo de la pared servirá de escala y permitirá una práctica de calibrado del aparato. Con una tabla de madera, provista de una ranura en su línea media, con escala anejada en cm. y mm., puede estudiarse el movimiento uniformemente acelerado dejando deslizarse una bolita de las que usan los niños en sus juegos. Un metrónomo, o en su defecto un reloj de bolsillo que tenga segundero, completará el material. (Fig. 3). Distribuidos los alumnos en torno a la tabla, el Profesor encargará que lean y anoten la división por donde pasa la bola a medida que cuenta los segundos en alta voz



Sostenida la bola en el 0, contará: tres, dos, uno, cero, uno, dos, tres, cuatro, etc., soltando la bola en el instante cero; de las lecturas sucesivas se encargarán los alumnos situados frente a las divisiones 5, 20, 45, 80, etc. Terminado el experimento se tabularán los resultados, se deducirán las velocidades en los sucesivos intervalos de tiempo y después los incrementos de velocidad por segundo. El experimento es muy útil para adquirir las nociones de aceleración y de movimiento uniformemente acelerado en grado elemental y permite además investigar la ecuación del espacio en función del tiempo, haciendo ver que las longitudes recorridas desde el principio son iguales al producto de la correspondiente al primer segundo por el cuadrado de los segundos sucesivos, y observando además que la primera es numéricamente igual a la mitad de la aceleración. Un segundo experimento, efectuado con distinta inclinación de la tabla, conducirá a las mismas conclusiones, dándoles validez general.

Los fenómenos de fusión y solidificación pueden estudiarse calentando o enfriando naftalina en un tubo de ensayo ancho, provisto de termómetro e introducido en un baño de agua que se calentará con un mechero en el primer caso y servirá de refrigerante en el segundo; leyendo las indicaciones del termómetro, de minuto en minuto, se pueden construir las gráficas de calefacción del sólido, o de enfriamiento del líquido, cuyo análisis conducirá a "descubrir" las leyes de fusión y solidificación.

Un nitrómetro de Lunge servirá para estudiar la compresibilidad de los gases y la evaporación en el vacío. La evaporación en el seno del aire se estudia fácilmente con el artificio de nuestro colega el Dr. La Puente, de Barcelona (fig. 4): Un frasco de dos bocas contiene un par de dedos de mercurio; en una de ellas se adapta un tapón atravesado por un tubo abierto que llega hasta el fondo; en la otra se introduce un tubito corto, unido por otro de goma a un embudo. Dos pinzas paralelas que oprimen la conexión de goma, manipuladas sucesivamente, permiten introducir en el frasco, gota a gota, el líquido del embudo, que previamente se llenó de éter o alcohol: la evaporación de las gotas se acusa por el ascenso del mercurio en el tubo largo hasta que se alcanza la presión de saturación.

Con un proyector diafragmado y un espejito plano, o una cubeta de vidrio llena de agua turbia, es posible estudiar la reflexión o refracción del pincel de rayos que sale del proyector; su trayectoria se hace visible en el aire sacudiendo el trapo de la aceleración. Un segundo experimento, efectuado con disbordar la pizarra, y en el agua, gracias a la turbidez del líquido.

Con una hoja de papel manchada por una gota de aceite y unas reglas graduadas se puede improvisar un fotómetro y estudiar la iluminación de ambas caras empleando velas de cera.

Los experimentos anteriores, cuantitativos todos, muestran cómo puede conducirse en clase la investigación de las leyes físicas siguiendo la metodología propia de esta Ciencia. Algunos servirán de base experimental para la explicación del Profesor; otros podrán constituir el objeto de una práctica realizada por los alumnos.

Cuando la experimentación directa no sea posible, puede suplirse con la descripción de hechos familiares al alumno o de experimentos fácilmente imaginables. No olvidemos que los niños traen un abundante caudal de ideas adquiridas en su cotidiano contacto con el mundo exterior. Muchas de estas ideas son imperfectas o erró-

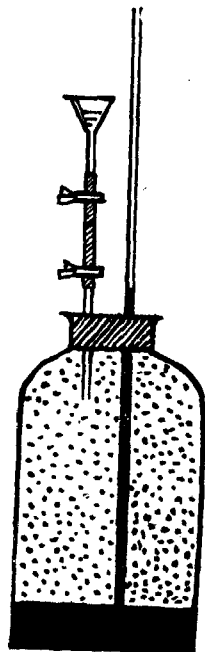


Fig 4

neas, pero analizadas, depuradas o corregidas por el Profesor se convertirán en conceptos claros y definitivos.

Por ejemplo: todos los alumnos tienen la idea intuitiva de la rapidez de un movimiento; esta idea, puramente cualitativa, se traduce en el concepto cuantitativo de **velocidad**, definido como magnitud física, del siguiente modo: consideramos dos automóviles que en tres horas salvan distancias de 120 y 180 Km., respectivamente, y preguntemos cuál es más veloz; los alumnos contestan en seguida que el segundo. Preguntémosles ahora que respondan si un tercer coche que recorre 100 Km. en dos horas es más o menos rápido que los anteriores: los niños entonces averiguan mentalmente el camino que recorrería cada uno en una hora y dan la respuesta correcta. El profesor les hace observar que han resuelto el problema dividiendo el camino recorrido en cada trayecto por el tiempo invertido, y que el cociente resultante mide la rapidez del móvil. A este cociente dará el nombre de *velocidad en el trayecto considerado*. Hará ver seguidamente que la velocidad es numéricamente igual al camino que correspondería a cada unidad de tiempo, pero *evitará identificarla* con este camino; antes bien, insistirá que la velocidad es una magnitud nueva, compuesta de otras dos (longitud y tiempo), *que mide la rapidez del móvil*, del mismo modo que el área de un rectángulo es una magnitud compuesta de dos longitudes (base y altura), definida por su producto, que mide la superficie de aquél.

Convendrá que ahora establezca las unidades de velocidad, siguiendo el mismo camino empleado para establecer las de superficie, y obtener sus equivalencias. Para esto último recordará que el valor de una magnitud está expresado por un número concreto y que este número, por ejemplo 20 m², indica que la magnitud medida es de 20 veces la unidad m². Asignando a la cuantía de una magnitud el carácter de producto de su valor numérico por la cuantía de la unidad de medida, el alumno resuelve fácilmente los problemas de cambio de unidades y averigua también la unidad en que viene expresado el resultado de una operación entre magnitudes cuando se aplica una fórmula de resolución de un problema: basta expresar los datos con su valor numérico y el símbolo de la unidad correspondiente y operar con los valores y los símbolos.

Con el caso de la velocidad, de la superficie y otros análogos (densidad absoluta, por ejemplo), el Profesor iniciará el estudio de las magnitudes derivadas; llegada la ocasión, hará ver que el cociente entre dos magnitudes de la misma especie es, en general, un número abstracto (densidad relativa, constante dieléctrica relativa, etc.), e indicará su significado aritmético.

En grado superior introducirá el concepto de dimensiones de una magnitud derivada; hará observar que dos magnitudes de las mismas dimensiones son algebraicamente homogéneas, pero pueden no serlo físicamente (ejemplo, trabajo y par); que hay magnitudes nulidimensionales (ángulo, esbeltez de una columna, índice de refracción), de lo que deducirá que las dimensiones de una magnitud no dan su esencia sino el criterio para conocer cómo varía su valor numérico cuando cambian también las unidades. Finalmente, hará ver la necesidad de que todos los términos de una ecuación sean algebraicamente homogéneos para que la ecuación sea correcta.

El estudio de la Física, que debe iniciarse cuantitativamente en Grado Elemental, acentuará este carácter en el Superior y en el Preuniversitario. El uso de las Matemáticas introducirá ahora razonamientos deductivos; surgirán teoremas y podrán convertirse en tales los principios inducidos por vía experimental, si es posible deducirlos de otros anteriores (teorema de conservación de la energía mecánica, teorema fundamental de la estática de fluidos, teorema de Arquímedes, teorema de Gauss, teorema de Faraday). La teoría de los cuerpos sumergidos y la flotación, por ejemplo, podrá ser estudiada por vía deductiva analizando las condiciones mecánicas correspondientes. Otras muchas cuestiones podrán ser enfocadas del mismo modo.

La enseñanza de la Química adiere una fisonomía especial dentro de las orientaciones generales anteriormente expuestas. La Química exige imperiosamente la expe-

rimientación: 1.º, porque viendo sustancias y reacciones se recuerdan mejor los caracteres descriptivos, tanto mejor cuando se ven varias veces, como sucede con el bióxido de manganeso, utilizado primero como oxidante del ácido clorhídrico y luego como catalizador de la descomposición del clorato potásico; también, con el permanganato potásico, empleado sucesivamente para observar la actividad reductora del hidrógeno nascente, del dióxido de azufre y del monóxido de carbono; luego, su acción con el sulfúrico para obtener oxígeno azonizado y su reacción con el peróxido de hidrógeno; 2.º, porque los conceptos elaborados experimentalmente adquieren mayor solidez; ejemplo: las nociones de ácido, base, sal, los conceptos de oxidación-reducción, etcétera.

La experimentación, además, permite, como en Física, el análisis objetivo de los fenómenos. Citaré un ejemplo: los alumnos han visto al estudiar el ácido clorhídrico su reacción con el amoníaco; ¿no podría obtenerse amoníaco a partir del cloruro amónico? El Profesor recuerda que cuando se echa cal viva en un establo se nota fuerte olor amoniacal; guiado por este hecho pulveriza en un mortero cloruro amónico y cal viva y hace observar el olor del amoníaco desprendido. Introduce luego la mezcla en un tubo de ensayo cuyo tapón está atravesado por un codillo de vidrio; mediante un soporte sostiene el tubo horizontalmente, con el codillo introducido en otro tubo que contenga agua, y calienta la mezcla. (Fig. 5). Se observa en seguida un

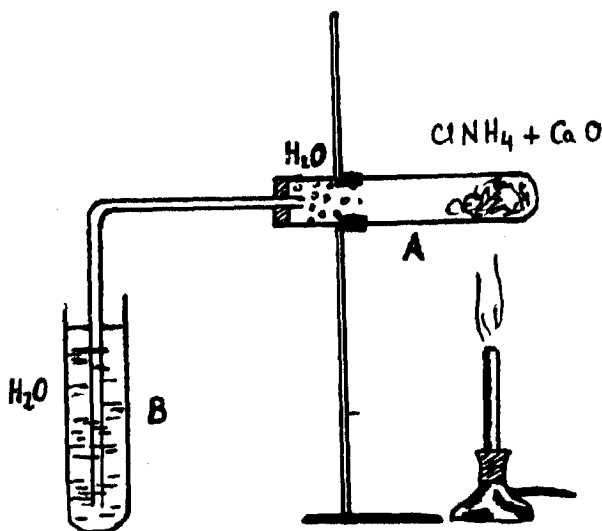


Fig. 5

desprendimiento progresivo de burbujas; pregunta de qué son y los alumnos responden invariablemente: de amoníaco. Les hará notar entonces que son del aire barrido por el amoníaco que desprende la mezcla. Poco después el burbujeo se hace lento y finalmente cesa; las burbujas pugnan por salir, pero son detenidas por el agua que las disuelve. Es fácil comprender que las burbujas, que al principio estaban constituidas por aire solamente, son luego de aire mezclado con amoníaco, y al ser captado éste por el agua deja escapar aquél en forma de burbujas más distan-

ciadas; al final sale amoníaco libre de aire que es totalmente disuelto. El Profesor llama la atención ahora sobre la presencia de gotitas de agua condensada en la parte fría del tubo que contiene la mezcla de cal viva y cloruro amónico; últimamente retira el mechero. Cuando el desprendimiento de amoníaco se debilita, se ve subir el agua por el codillo e invadir el tubo A, confirmando la extraordinaria solubilidad del gas.

Llegado aquí, el profesor puede interpretar la reacción; luego ensayará con tornasol o fenoltaleína el agua amoniacal restante en B e interpretará el resultado.

Debemos tener en cuenta que la Química es una malla cuyos nudos son solidarios; de ahí la conveniencia de resaltar la trabazón entre los fenómenos que estudiamos recordando su enlace con los anteriores. De este modo, el papel de la memoria en Química queda reducido al mínimo, porque la memoria puramente retentiva es sustituida por la memoria discursiva, menos gravosa y más eficaz.

Unas palabras finales sobre las imágenes empleadas para comprender o aclarar ciertas ideas. Muy útiles cuando son correctas, pueden conducir a conceptos erróneos cuando no lo son. Es correcto asimilar el catalizador al lubricante o la arena que facilita o entorpece la marcha de un mecanismo; es impropio, en cambio, asimilar la capacidad eléctrica de un conductor con la cabida de un vaso: sólo es válida la analogía con la sección de una vasija cilíndrica o prismática de aristas perpendiculares a la base.

La semejanza entre la tensión superficial y la tirantez de una membrana elástica no es rigurosa; debe hacerse ver la razón de las diferencias entre una y otra.

Es correcto decir que en la desintegración radiactiva los átomos no mueren por enfermedad ni senectud, sino por accidente; la radiactividad es, en efecto, un fenómeno estadístico, comparable a lo que sucedería en una ciudad cuyos habitantes murieran sólo por el impacto de una lluvia de proyectiles.

La asimilación de un rayo de luz polarizada con las vibraciones transversales de una cuerda cuyo extremo recibe movimiento rítmico de vaivén es admisible, pero la analogía entre un rayo de luz natural y la cuerda que transmite vibraciones circulares es impropia, porque un rayo de luz natural se compone de una sucesión de trenes de ondas transversales, polarizadas rectilíneamente en planos distintos para cada tren y orientados al azar.

Aconsejamos por ello al Profesorado que analice las imágenes que haya de utilizar, a fin de hacer una aplicación correcta de las mismas y evitar que los alumnos adquieran ideas defectuosas o equivocadas.

FOTOGRAFADO

Color-Directo-Línea

Misión



Menorca, 32 y 37 - MADRID (9)