

estudios y perspectivas

de
didáctica

SELECCION DE MATERIAL PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA Y LA QUIMICA

Por
Serafín Pazo Carracedo
Catedrático de Escuela Normal
y de Instituto

El planteamiento de la Educación General Básica, en el sentido de "aprendizaje" más que de "enseñanza" y, por otra parte, el avance explosivo de los conocimientos científicos, fuerzan a una selección de temas que permitan un ejercicio y mayor despliegue de las aptitudes del binomio pedagógico "profesor-alumno", encaminados a descubrir el hilo conductor subyacente en todo quehacer científico. "La índole de la lección, la personalidad y los objetivos del profesor, el clima imperante en la clase, los intereses y necesidades de los alumnos son, en última instancia, los que determinan la selección y empleo de los métodos apropiados" (Nathan S. Washon). Saber *escuchar* y guiar inteligentemente la discusión colectiva; saber *motivar*, teniendo en cuenta "el alumno y sus circunstancias", y saber *preguntar*... He aquí una trilogía que me parece necesaria, particularmente en la época actual, para el logro de una enseñanza eficaz.

Por lo que a la enseñanza de la Física y Química se refiere, tenemos a los alumnos, si no motivados, bien dispuestos. La prensa, el medio ambiente, la era científica en que vivimos, constituyen una fuente inagotable de motivación y enseñanza. El alumno en la etapa de su vida que corresponde a la E. G. B. siente unos deseos enormes de aprender, de encontrar respuesta a todo. Rompe, incluso, sus juguetes para ver lo que hay allí dentro... Es un afanoso investigador de "¿por qué?".

Me parece que una E. G. B. debe dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- 1.º ¿Cómo se "hace" la Ciencia?
- 2.º Iniciación en la estructura y leyes fundamentales del mundo material.

Y todo ello despertando el entusiasmo, la admiración y curiosidad. Con aparatos sencillos, sin camuflajes, descubriendo el mensaje científico que se esconde en los "hechos" más simples de nuestra vida cotidiana... Objetivo ambicioso —utópico, tal vez—, pero que ha de servirnos de meta y guía.

En este artículo me propongo dar respuesta —una respuesta— a la primera cuestión, presentando experiencias un poco distintas a las tradicionales para la enseñanza, en las que juegue un importante papel la observación, la iniciativa y creatividad, la actividad personalizada. En las que se destaque el trabajo colectivo, que permitirá acentuar esas virtudes para las que la Ciencia es excepcionalmente adecuada: amar y respetar la objetividad y la verdad.

El método científico. Experiencia de elaboración de un "modelo".

Esta experiencia, que puede adaptarse de formas muy diversas, es de una eficacia extra-

ordinaria en cuanto permite elaborar un modelo de constitución investigando científicamente. Para ello se preparan cajitas iguales, de cartón, en las que se han introducido previamente los mismos objetos, tales como, por ejemplo, una tuerca de hierro, una moneda de peseta y una docena de perdigones. Las cajas, cerradas, se pegan con una cinta adhesiva, para que no se abran durante la experiencia.

El problema consiste en elaborar un "modelo" de esa "caja negra" (no en el sentido del color, sino en el de oculto, desconocido) mediante la experimentación, sin romperla. Los instrumentos con los que se dota a cada alumno pueden ser un imán y una regla graduada. Cada alumno irá anotando en su block las experiencias que realiza y las "hipótesis" que formula, para llegar a establecer, al final, un "modelo" de su constitución interior. Un ejemplo podría ser éste: "... se trata de una caja de cartón blanco de medidas 8 x 12 x 3 cm. Cuando la inclino suavemente oigo un sonido de algo que se desliza y pequeñas cosas que ruedan... Una de las "cosas" que se desliza es magnética..., etc., etc. El interior está constituido por..., y para ello voy a hacer las comprobaciones..."

Al final se abren las cajas y ¡cuántas sorpresas...! Una "teoría", un "modelo", es como un mapa, que puede informarnos muy bien y dar cuenta de todos los hechos experimentales y no parecerse en nada a la realidad.

Un experimento célebre. Modelo atómico-nuclear de Rutherford.

La idea de la atomicidad de la materia se remonta, como especulación filosófica, a los "atomistas" griegos, Leucipo y Demócrito, varios siglos antes de Cristo. Fue a fines del siglo XVIII cuando el irlandés W. HIGGINS y luego más ampliamente el inglés J. DALTON que expusieron de forma útil a la Química la "teoría atómica" de la materia. Desde entonces la "teoría atómica" ha sido una marcha triunfal, explicativa y fecunda... Pero el "áto-

mo", simple e indivisible, resulta una realidad bastante compleja. La historia comienza con la célebre experiencia de RUTHERFORD y sus colaboradores GEIGER y MARSDEN, en 1911, sobre la "dispersión de partículas alfa a través de láminas metálicas delgadas", que elijo como ejemplo de *elaboración de una teoría científica* y de un "modelo" de átomo, haciendo uso de una analogía muy simple: Sospechamos que en un cargamento de fardos de paja se ocultan, en su interior, objetos de contrabando, tales como piezas de platino... (fig. 1). Disponemos para nuestras investiga-

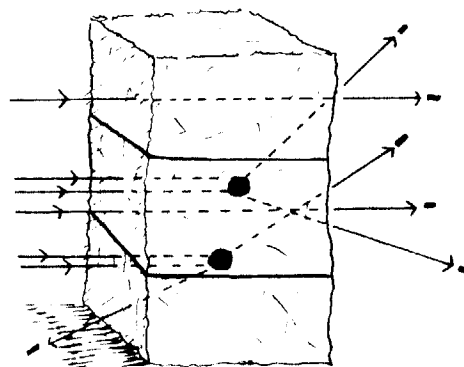


Fig. 1

ciones de un arma de fuego con la que podemos "bombardear" los fardos, pero sin que éstos puedan deshacerse. Lanzamos un gran número de proyectiles y nos encontramos que *casí* todos los atraviesan, como si los fardos estuviesen prácticamente vacíos... Pero algunos se desvían de su trayectoria y es aquí, en el estudio de las trayectorias de estos proyectiles dispersados, de donde podemos obtener más información acerca de la forma y tamaño de los objetos que se ocultan.

Pues bien, análogamente, RUTHERFORD encontró que las láminas metálicas delgadas sometidas al bombardeo con partículas "alfa" (núcleos de He, con carga positiva) se comportaban como "transparentes", prácticamente vacías (a), y sólo unas pocas —de cientos de miles— sufrían un retroceso (b) o se desviaban ligeramente, describiendo una trayectoria hiperbólica (c) (fig. 3).

Fig. 2: Determinación de la forma de un objeto mediante un experimento de dispersión.

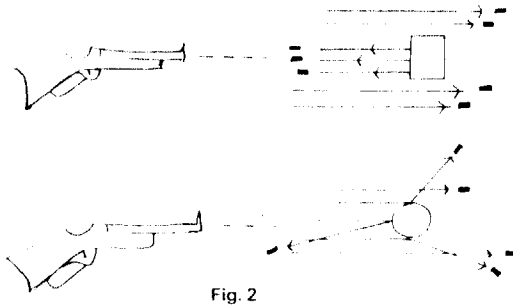


Fig. 2

Fig. 3: Experiencia de RUTHERFORD.

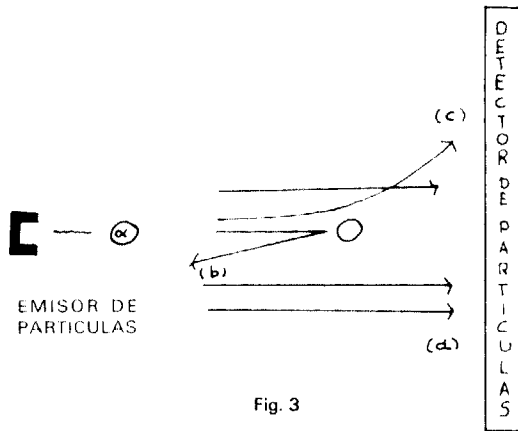


Fig. 3

Ejercicio:

Dibujar la dispersión de los proyectiles en los casos siguientes, sobre un cilindro macizo:

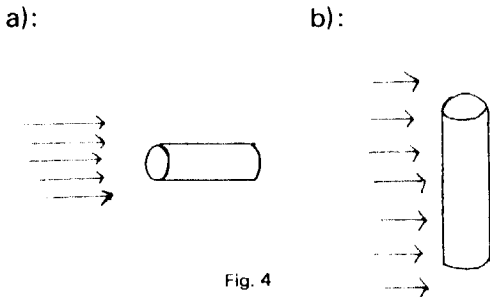


Fig. 4

El estudio de la dispersión, así como de las trayectorias, condujeron a RUTHERFORD a elaborar su "modelo" de átomo "nuclear" y a

la hipótesis de que en la materia reina un vacío inmenso, comparable al de los espacios interplanetarios, y sólo en pequeñísimas regiones, del orden de 10^{-13} cm., parecía estar concentrada la masa ("núcleos atómicos"). Las trayectorias hiperbólicas de las partículas "alfa", obedeciendo a una repulsión coulombiana, permiten concluir que el núcleo está cargado positivamente e incluso permiten deducir la cuantía de esa carga nuclear o "número atómico".

Interesa resaltar nuevamente, de esta experiencia, el valor que hay que dar a las "teorías" y "modelos", en el sentido de su *validez* en cuanto explican y coordinan unos hechos. Así DALTON con su modelo de átomo simple, indivisible, pudo explicar una serie de hechos experimentales y hasta predecir otros ("teoría atómica"). Para él, el átomo era una "caja negra". RUTHERFORD logra penetrar un poco más, abriendo una caja y descubriendo otra "caja negra", el núcleo atómico. Investigadores posteriores desentrañan la complejidad del núcleo descubriendo, a su vez, en un proceso de búsqueda interminable, nuevas "cajas negras"... Y es que "la más hermosa ventura del hombre que piensa es investigar lo investigable y venerar en paz lo incognoscible", decía GOETHE.

Tamaño de las moléculas. Experiencia.

En la actualidad nadie duda ya de la existencia de los átomos, hasta el punto que vivimos en la "era atómica". Sin embargo, ¿qué pruebas podríamos aportar de la existencia de estas cantidades mínimas de materia? En el siguiente experimento no sólo aportamos una prueba, sino que, además, vamos a determinar el orden del tamaño molecular, midiendo —indirectamente, claro está— espesores de capas muy delgadas (capas "moleculares").

Los líquidos tienden a extenderse en capas o películas muy delgadas. Todos hemos visto esas finísimas películas de aceite, bellamente coloreadas en virtud de fenómenos de interferencias luminosas, flotando sobre el agua.

Pero todavía se extiende más el "ácido oleico", ¡del que bastaría una sola gota para recubrir toda el agua de una piscina!

La experiencia consiste en medir un volumen de ácido oleico y la superficie que ocupa, una vez extendido en (suponemos, formulamos la hipótesis, y luego van pruebas para confirmarlas) capa monomolecular. Dividiendo el volumen por la superficie encontraríamos el espesor de la capa.

Para ello y para que la superficie no sea muy grande necesitamos medir un volumen muy pequeño de ácido oleico, que obtenemos diluyendo un volumen conocido de ácido con alcohol, en el que es muy soluble. Mediante un cuenta gotas, y con mucho cuidado, ponemos una gota de esta disolución sobre la superficie del agua de una bandeja grande, sobre la que previamente hemos espolvoreado una finísima capa de talco, apenas visible, soplando una pequeña cantidad sobre la mano... El polvillo será empujado hacia fuera, delimitándose una superficie casi circular, de la cual medimos, aproximadamente, su diámetro medio... Si ponemos dos gotas encontramos una superficie doble. ¿Qué conclusión podemos sacar de este hecho?

En nuestra experiencia hemos disuelto y diluido el ácido oleico en alcohol etílico hasta 1/200. (Para ello medimos 5 cc. de ácido oleico y lo disolvemos en 95 cc. de alcohol. Tomamos 5 cc. de esta disolución y la diluimos con 45 cc. de alcohol...) El diámetro medio era de unos 55 cm. Luego:

$$S = \frac{1}{4}\pi d^2 \simeq 2.10^3 \text{ cm}^2$$

Como hemos utilizado una gota de la disolución diluida y en 1 cc. hemos contado 50 gotas, el volumen de ácido oleico correspondiente a una de esas gotas sería 1/50 por 1/200 = 10^{-4} cc.

Así pues, el espesor:

$$h = V/S = \frac{10^{-4}}{2.10^3} = 5.10^{-8} \text{ cm.},$$

es decir, del orden de las unidades Angstrom ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm.}$). Valor muy aceptable que hemos utilizado luego, dando un paso más, para calcular el "número de Avogadro".

Observación:

¿Cómo podríamos asegurarnos de que la película formada es sólo de ácido oleico? Podemos formular la hipótesis, muy verosímil, de que el alcohol extendido en esa finísima capa se evaporaría rapidísimamente o se disolvería en el agua... Repetir la experiencia con alcohol puro, para confirmarlo.

Una vela que arde...

Una "vela que arde" es un hecho vulgar que a nadie llama la atención. Sin embargo, este fenómeno tan sencillo en apariencia, sometido a una "observación cuidadosa" y una "descripción detallada" constituye una inagotable fuente de enseñanza y un fascinante medio de aprendizaje. Ya el gran investigador inglés Michael FARADAY le ha dedicado unas magistrales conferencias con el título "La historia química de una bujía". En efecto, se trata de un complejo fenómeno en donde se dan cita diversos capítulos de la Física y de la Química, la ciencia de los libros... con los hechos de la vida cotidiana, fuera del aula.

Una descripción detallada, cuantitativa, como ejemplo de lo que es una descripción científica, podemos verla en el Libro del Proyecto CHEM ("QUÍMICA: una ciencia experimental". Ed. Reverté), así como una hermosa fotografía de una vela que arde... Resumimos algunos párrafos. "... la vela está hecha de un material sólido, traslúcido y blanco, que se deja rayar fácilmente con la uña... Posee una mecha o pabilo, formado por hilos trenzados, que la atraviesa de un extremo a otro siguiendo su eje... Mientras está ardiendo, el cuerpo de la vela se mantiene frío al tacto, excepto en las proximidades de la parte superior, que se mantiene tibia y suficientemente blanda, pudiendo ser deformada fácilmente. La llama oscila en las corrientes de aire. En el entorno

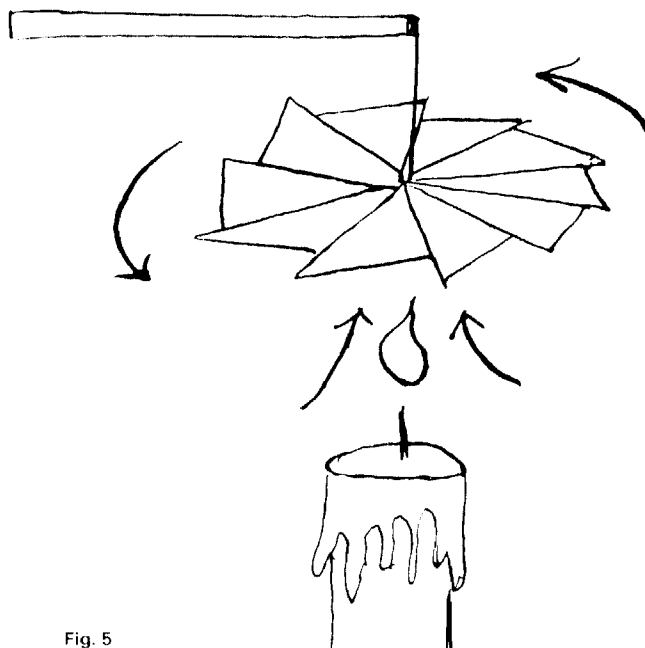


Fig. 5

inmediato al pabito, en un espacio de unos 6 mm. de anchura y 12 mm. sobre el extremo superior del pabito, la llama es oscura y de forma cónica. Envolviendo esta zona, existe otra que emite luz amarilla y brillante, pero no cegadora... Las superficies laterales de la llama están bastante definidas, pero su parte superior aparece desflecada... La llama emite calor suficiente para que sea desagradable mantener el dedo, por diez o veinte segundos, a unos 6 mm. del borde lateral de la llama tranquila o a unos 7 ó 10 cm. por encima... La parte superior de la vela que arde llega a llenarse de un líquido incoloro y se hace cóncava... Cuando se vierte este líquido sobre la vela, corre hacia abajo, se enfría, se torna traslúcido y se solidifica gradualmente, empezando por la parte exterior, quedando adherido a la pared de la vela..."

Esta información se limita simplemente a "describir", no a "interpretar", e interesa resaltar cómo la descripción pretende ser "cuantitativa", "completa", en definitiva ("luz amarilla, pero no cegadora". Cuánto calor a determinada distancia y dirección. Existencia de dos zonas, una interior oscura y otra exterior brillante, etc.).

Muy interesante resulta "escuchar" la descripción individual, que cada alumno haría del mismo fenómeno. Constituye una "evaluación" del desarrollo de su capacidad de "observación" y de "expresión". Comparar los resultados, comprobarlos y reelaborar de nuevo una descripción conjunta, más completa, haciendo patente que la Ciencia no es obra de un solo hombre, sino la culminación de incontables esfuerzos de investigadores, a menudo sin premios ni distinciones...

Una segunda fase, después de la "observación", sería la "interpretación" de los fenómenos, formulando "hipótesis" y elaborando "teorías". Por ejemplo, ¿cómo interpretaríamos el hecho, ya descrito, de que se pueda acercar un dedo por las zonas laterales de una llama "tranquila", mientras que, sobre la misma, quema a distancias mayores? ¿Por qué esa forma cóncava del "cacillo" que se forma al arder? Si en la combustión se desprende vapor de agua (mal conductor del calor) y anhídrido carbónico (gas que apaga las llamas y más denso que el aire, que se usa en extintores), ¿por qué, entonces, no se apaga la llama a sí misma, con los productos de su propia combustión? La lista de preguntas sería ina-

gotable, pero éstas y otras muchas encuentran una "interpretación" razonable en las llamadas "corrientes de convección" (fig. 4), consecuencia del simple hecho de dilatación de los gases con el calor y consiguiente disminución de la densidad... Esta hipótesis de las "corrientes de convección" puede comprobarse (la "comprobación" es un paso importante del "método científico") mediante un "molinete" de papel, tal como se indica en la figura 5, o con una cinta en espiral de las que constituyen motivos de adorno navideños.

Realicemos ahora una experiencia muy instructiva, como *tema de estudio "globalizado"*, que nos servirá para sacar partido de un error —los errores también pueden constituir una valiosa fuente de aprendizaje— común en muchos libros... Se trata del estudio de *la composición del aire* por un procedimiento bien conocido de todos. Se pone agua en un plato. Se pega un cabito de vela a una rodaja de corcho y se deja flotando (fig. 6). Se enciende y cubre con un vaso o probeta graduada. *Observación:* la vela arde durante unos segundos y luego se apaga; burbujan gases, el nivel del agua sube dentro del vaso hasta aproximadamente un quinto de su volumen y éste se empaña por su interior.

La "interpretación" común a que aludíamos es ésta: la vela al arder consume el oxígeno del aire y la presión atmosférica obliga a subir el nivel interior, igual que cuando sorbemos por una paja de fresco... En fin, aquí tenemos un tema sumamente rico en cuanto relaciona composición del aire, combustión, presión atmosférica, principio fundamental de la hidrostática, etc. Esta interpretación con la

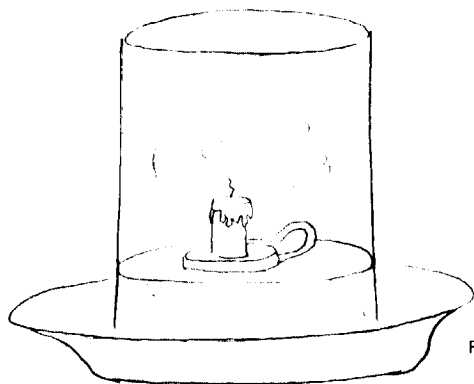


Fig. 6

"hipótesis" del consumo de oxígeno, etc., es válida en cuanto explica, en efecto, algunos "hechos", pero es que podemos *comprobar* —y esto sería objeto de un estudio del fenómeno a un nivel de mayor profundidad— que en el interior todavía hay oxígeno y, además, se han formado otros gases, vapor de agua, que empaña el vaso, y anhídrido carbónico. ¿Por qué, entonces, sube el nivel del líquido en el interior, si parece, precisamente, que debiera ocurrir todo lo contrario? Aquí se revela la importancia que tiene el no haber considerado un pequeño detalle, pero de gran influencia, como es la gran dilatación que sufren los gases al ser calentados y que originan el burbujeo. Luego, al enfriarse, disminuye la presión y, en consecuencia, el nivel del líquido asciende en el interior.

Podríamos seguir investigando. Las preguntas surgen a montones:

- ¿Por qué la llama es azul en la base, oscura en el centro y amarilla en el resto?
- ¿Se produciría una llama mayor, si aumentamos el diámetro de la vela?
- ¿Cuál es el objeto de la mecha? ¿Qué propiedades son necesarias para los materiales de las mechas?
- ¿Por qué se apaga una vela soplándola?
- ¿Por qué la llama adquiere la forma que presenta?
- ¿Por qué la vela reacciona con el aire produciendo agua y dióxido de carbono y no ocurre el proceso inverso de que los productos reaccionen para dar una vela y aire?
- ¿Por qué no se verificó la combustión antes de encenderla?

Cualquier tema, sencillo o complejo, permite un tratamiento análogo, una investigación científica del mismo. Este lo hemos comenzado aludiendo a unas conferencias de FARADAY y queremos terminarlo también con sus propias palabras: "La mayor belleza de nuestra ciencia consiste en que al avanzar en ella, ya sea en mayor o menor grado, en lugar de agotar el tema de investigación, se abren las puertas a conocimientos más abundantes y profundos, desbordantes de belleza y de utilidad".