

## Enseñanza de las ciencias experimentales en la Instrucción Secundaria

El valor educativo de estas ciencias es inmenso, á condición de que su enseñanza sea exclusivamente experimental. El material necesario para la mayor parte de las experiencias no es ni abultado ni costoso y no hay manipulación peligrosa cuando se opera en pequeñísima escala. En cuanto á la química, algunos tubos y probetas, una lámpara de alcohol y un pequeño número de productos químicos bastan. Varios autores han indicado ya en diversas obras, el partido que puede sacarse de semejantes elementos.

Apenas sería algo más costoso lo relativo á la física. No habría más que imitar lo que hacen los ingleses y los alemanes. Merced al ingenio de sus constructores, han podido poner en manos de los niños y á precios insignificantes, colecciones de instrumentos de física, de química, de mecánica, etc., que les permite resolver experimentalmente, problemas muy difíciles. Sin hablar más que de la física, citaré una colección de aparatos que he comprado por curiosidad. Por 30 francos se obtiene todo lo que concierne á la óptica, incluso la polarización y difracción (banco de óptica, lentes, prisma, material de análisis espectral), es decir, una colección de objetos que, contruídos en Francia, con el lujo de los aparatos de nuestros constructores, costaría más de un millar de francos. Por 30 francos se tiene todo lo que concierne á la electricidad. Generalmente se obliga al alumno á que fabrique por sí mismo los instrumentos con el material que se le entrega. El folleto que les acompaña tiene cerca de 500 problemas que resolver y que pondrían en un brete á la mayor parte de los licenciados de nuestra Universidad. He aquí algunos: medir la resistencia de la bobina de un galvanómetro, de un elemento termo-eléctrico; la resistencia interior de una pila; combinar resistencias de 1, 2, 5 ohms, etc.; fabricar con el material entregado un espectroscopio y determinar los rayos de los metales incandescentes; fabricar un polariscopio, un sextante de reflexión, un aparato de difracción, un antejo de larga vista, terrestre, con retículo y medir el aumento de las imágenes; comprobar si las láminas de vidrio tienen sus caras paralelas, etc., etc.

Mientras en Francia, escribe M. Niewenglowsky, en un informe sobre la enseñanza de las ciencias, se estudian las ciencias experimentales por el mismo procedimiento que las matemáticas, es decir, en el encerado; que no se hace en nuestros liceos ni manipulaciones de física, ni ejercicios prácticos de historia natural y que apenas si los alumnos de matemáticas especiales hacen algunas manipulaciones de química; en el extranjero, por el contrario, la enseñanza de las ciencias experimentales se hace, como es lógico, en el laboratorio.

En Inglaterra y en América, los alumnos aprenden á trabajar en laboratorios muy bien dotados. Allí, los estudiantes hacen experiencias relativas á la ciencia que estudian, bajo la dirección de un profesor que hace después la crítica de los resultados obtenidos. Se pone en práctica el método del redescubrimiento. (*The Method of the rediscovery*). Sin duda, no se llega hasta esperar que los alumnos puedan, por sí mismo, descubrir las leyes de la naturaleza; pero una mezcla armónica de descubrimientos, de comprobaciones y de correcciones, parece ser el ideal de los mejores profesores de ciencias naturales. Se concede mucha importancia á la expresión exacta de las observaciones y de las experiencias. Los cuadernos de observaciones y de notas de los alumnos se consideran como una de las mejores pruebas de la excelencia de sus trabajos. (1)

No hay nada nuevo seguramente en lo que precede, y los alemanes, lo mismo que los ingleses, no han hecho sino aplicar en sus países respectivos ideas expuestas desde hace mucho tiempo entre nosotros. Hé aquí como se expresaba á este propósito, hace cerca de medio siglo, el sabio francés Dumas, en una instrucción sobre el plan de estudios de los liceos, instrucción cuyos principales capítulos han sido reproducidos en el Reglamento de 1890. Estas recomendaciones no tuvieron más éxito entre los profesores de 1890 que entre sus predecesores. No se cambia, en efecto, la mentalidad de los hombres con programas.

... Más que en los libros, hay que buscar inspiración en la Naturaleza...

El hombre no ha inventado la física; ha recogido observaciones suministradas por el azar; ha variado las condiciones de aquéllas y ha deducido las consecuencias.

Persuadir á los jóvenes de que el espíritu humano podía prescindir del hecho que sirve de base á cada descubrimiento importante, de que podía crear la ciencia por el solo razonamiento, es preparar al país una juventud orgullosa y estéril...

No se recomendará nunca demasiado á los profesores de física, que comiencen la exposición de todas las grandes teorías por un relato histórico muy fiel, y, si es necesario, por la reproducción exacta de la experiencia que ha servido de punto de partida al inventor. Así no olvidarán que la física es una ciencia experimental que recibe auxilio de las matemáticas para coordinar y exponer sus descubrimientos, y de ningún modo una ciencia matemática que se somete á la comprobación de la experiencia.

Los profesores de física no desconfiarán nunca demasiado de una particularidad de su enseñanza, que se relaciona, más de lo que parece, á la consideración precedente. Me refiero á esos aparatos de lujo que el uso ha introducido en sus gabinetes.

Con mucha frecuencia la idea primera del inventor, desnaturalizada en estos aparatos, para darles una forma que hace desaparecer de ellos toda su sencillez, se aleja demasiado de las disposiciones primeras que aquél había adoptado.

Casi siempre tales aparatos ofrecen disposiciones accesorias complicadas, en las cuales la atención de los alumnos se distrae, apartándola del objeto esencial de la demostración.

Su elevado precio aleja del espíritu de los alumnos toda idea de ocuparse nunca de física, porque esta ciencia les parece reservada á las personas que dispongan de un gran gabinete, ó de una gran fortuna.

(1) *Le Temps*, 13 Octubre de 1901.

No nos cansaremos de recordar á los alumnos de la Escuela Normal la utilidad de los trabajos de taller que tienen que realizar; á los provisores, el partido que pueden sacar en provecho de la enseñanza, de un gabinete colocado cerca del de física como su dependencia necesaria; hay que excitar á los profesores de física á que simplifiquen sus aparatos, á que los construyan por sí mismos siempre que puedan, á que no empleen en ellos sino materiales corrientes, á que se aproximen en su construcción á los primitivos aparatos de los inventores, á evitar esas máquinas de doble ó triple objeto, cuya descripción es casi siempre incomprensible para los alumnos.

¿Qué cosa más sencilla que los medios con ayuda de los cuales Volta, Dalton, Gay-Lussac, Biot, Arago, Malus y Fresnel han fundado la física moderna?

Hace cuarenta ó cincuenta años, cuando esta generación de físicos ilustres reconstituía sobre nuevas bases todo el edificio de una ciencia, lo conseguía con instrumentos tan comunes, de un precio tan módico y de una demostración tan fácil, que cabe preguntarse si la enseñanza de la física no está excesivamente sometida al imperio de los constructores de instrumentos....

Pretender, por ejemplo, que no se puede hablar de la dilatación de los gases por el calor sin dar á conocer los delicados aparatos, que dan de ello la última medida, es un error.....

....Gay-Lussac se cercioró de que todos los gases se dilatan de la misma manera, por medio de tubos graduados que contenían cantidades iguales de diversos gases y estaban colocados en una estufa que se calentaba de 10 á 100 grados. La medida directa del volumen ocupado por cada gas, al principio y al fin de la experiencia, la bastó para dar la ley del fenómeno.

Conviene mucho insistir acerca de la exactitud de las ideas que acaban de ser expuestas. Su verdad profunda no puede ser bien comprendida sino por las personas que han explorado campos nuevos de la ciencia. Hay otros muchos nombres, los de *Erstedt* y de *Faraday*, por ejemplo, que hay que agregarlos á los de los sabios citados por *Dumas*, que han hecho importantísimos descubrimientos valiéndose de aparatos muy sencillos. Muchas invenciones recientes, tales como el teléfono, por ejemplo, han sido hechas con aparatos muy rudimentarios, como se podrá convenir cualquiera recorriendo las salas dedicadas á los instrumentos de ciencia retrospectiva de la gran Exposición de 1900. Los aparatos complicados no son necesarios sino cuando se quiere comprobar, con gran precisión, resultados ya obtenidos con aparatos simples. El empleo de los aparatos costosos, complicados y necesariamente de difícil manejo, impide con frecuencia observar bien los fenómenos. Si se ha tardado veinte años en descubrir—y aun esto ha sido por casualidad—que siempre que se hace funcionar un tubo de *Crookes* emite rayos particulares, llamados rayos X, es porque estos tubos eran antes difíciles de fabricar y no se empleaban sino muy raras veces. Si, en las experiencias que vengo publicando desde hace seis años sobre la luz negra, la fosforescencia invisible, la opacidad de ciertos cuerpos para las ondas hertzianas, la generalidad en la naturaleza de los fenómenos radio-activos, etc., me ha sido posible descubrir algunos hechos completamente nuevos, ha sido en parte porque, trabajando en mi propio laboratorio y á mi costa, me he visto siempre obligado á servirme de instrumentos sencillos y poco costosos.

En el pasaje citado anteriormente, *Dumas* insiste, con razón, en la utilidad de repetir las experiencias con instrumentos tan sencillos como aque-

llos que emplean los inventores. Sería de capital importancia para el desarrollo mental del alumno, el enseñarle lo que los libros casi no indican, y es de qué modo los grandes fundadores de la ciencia han realizado sus descubrimientos, y las dificultades con que han tropezado. La cosa es tanto más fácil cuanto que esos ilustres innovadores, como dice muy bien Dumas, han empleado casi siempre aparatos rudimentarios, que no se han hecho complicados sino más tarde. La experiencia fundamental de Erstedt, acerca de la desviación de la brújula por una corriente, puede repetirse con un gasto de algunos francos, y el profesor no dejará de decir al alumno por qué Erstedt no logró terminarla durante mucho tiempo. La experiencia fundamental de la inducción (desviación de un galvanómetro unido por un hilo á las dos polos de un imán, cuando se introduce un trozo de hierro entre las dos ramas del imán) exigió muchas investigaciones á Faraday, aunque sea de las más fáciles de repetir. La historia del descubrimiento del antejo de larga vista puede representarse con los lentes que no cuestan un franco, etc. Un profesor que tuviera en su espíritu algo de filosofía, podría, con la historia de los descubrimientos científicos y la lectura de fragmentos de las memorias originales, dar un curso que reemplazaría con ventaja á la lectura de los más voluminosos tratados de lógica. Entonces solamente comprendería el alumno la evolución del espíritu humano, las dificultades con que siempre tropiezan los experimentadores, cómo se sale de los caminos trillados, y con qué dificultad se sustrae un investigador al peso de las ideas anteriormente admitidas.

Hay, pues, que conceder especial importancia á la historia de los descubrimientos científicos, tan perfectamente ignorada y desdeñada por la Universidad, tanto en la segunda enseñanza como en la superior. El número de sabios que han comprendido la fuerza educadora de esta enseñanza es muy pequeño. Puedo, sin embargo, además de Dumas, citar dos, inglés uno y francés otro, que ocupan posiciones eminentes en la enseñanza.

El impulso que puede esperarse de la ciencia es el resultado, no de la acumulación de los conocimientos científicos, sino de la práctica de la investigación científica. Un hombre puede conocer á fondo todos los resultados obtenidos y todas las opiniones corrientes sobre cualquier rama ó sobre todas las de la ciencia, y carecer de espíritu científico; pero nadie podrá llevar á buen término la más modesta investigación sin que algo de espíritu científico le quede. Este espíritu puede adquirirse, además, aun sin investigar ninguna verdad nueva. El alumno puede ser llevado de varios modos á verdades antiguas; puede ser puesto en presencia suya brutalmente como un ladrón que asalta un muro, y desgraciadamente le precipitación de la vida moderna impulsa á muchos á adoptar este rápido camino. *Pero puede también ser llevado á las mismas verdades por los propios caminos que han seguido aquéllos que los descubrieron. Por este último método, y solo por él, puede esperar el alumno adquirir al menos algo del espíritu del investigador científico.* (1)

El método indicado aquí para encontrar las antiguas verdades, es el método experimental, tan amado por los ingleses. M. H. Lechatelier, sin discutir el valor de este método, recomienda con razón, la lectura de las memorias originales de los creadores de la ciencia.

Se podrían hacer analizar las memorias científicas originales que han llegado á ser clásicas: las de Lavoisier, Gay-Lussac, Dumas, Sadi-Car-

(1) Michael Forster. Discurso pronunciado en el Congreso de la Asociación Británica para el adelanto de las ciencias. *Revue Scientifique*, 1899, pág. 393.

not, Regnault, exigiendo que se pusieran de relieve sus puntos esenciales, ó se discutieran las ventajas comparativas de dos métodos experimentales que tuvieran el mismo objeto: por ejemplo, el del calorímetro de hielo y el de agua; hacer programas de experiencias para investigaciones sobre un tema dado; en una palabra, imitar lo que se hace con mucha razón en la enseñanza literaria. Ante todo, lo que convendría tomar de esta enseñanza es la lectura de los autores clásicos. Aprendiendo en un curso, los resúmenes de las experiencias de Lavoisier ó de Dumas, no se estudia mejor la ciencia que lo que se estudiaría la poesía dramática estudiando resúmenes de las obras de Corneille. Al lado y alrededor de estos hechos hay todo un cortejo de ideas en un caso, de sentimiento y de melodía en el otro, que representan mucho más que hechos materiales, la ciencia ó la poesía. Los resúmenes, buenos para la preparación para los exámenes, son estériles para el desarrollo del espíritu y de la imaginación.

Pero ante todo, para comunicar al espíritu de los jóvenes la actividad indispensable, hay que obtenerla primeramente de sus profesores. Para enseñar á sus alumnos á pensar y á querer, preciso es que comiencen por pensar y por querer ellos mismos. Si no están activamente mezclados al movimiento de investigación científica, si no hablan de la ciencia más que de oídas y sin convicción, no pueden influir en el ánimo de sus oyentes. Tal vez prepararán excelentes alumnos para los exámenes, pero no formarán inteligencias. (1)

Muy raros son los profesores que no se limitan á hablar de la ciencia de otro modo que de oídas, y por eso son también muy raras las inteligencias que consiguen formar.

En un discurso pronunciado ante la Cámara de Diputados, M. Ribot, presidente de la comisión informadora, ha demostrado perfectamente en pocas palabras, la importancia de la historia de los descubrimientos. Todo el mundo parece, pues, de acuerdo, en teoría solamente, acerca de este punto.

Si se enseña á los alumnos, no solamente las nociones positivas, las cifras, todo lo que es técnico, todo lo que se olvida; si se les enseña el camino que se ha seguido para crear la ciencia actual; si se le muestra por qué esfuerzo y por qué método el espíritu humano se ha elevado hasta estas verdades eternas; si se les hace la historia de los descubrimientos de un Pasteur, se puede impresionar la inteligencia y algo más noble que ésta, el corazón del niño.

Creo que puede inspirarse á éste hacia nuestra sociedad y hacia los prodigios que ésta crea, desarrollando por la ciencia ese amor y esa admiración que harán de él un verdadero ciudadano de la sociedad moderna.

Lo creo con todas mis fuerzas; esto es una cuestión de método y, lo repito, de educación de los mismos profesores. (2)

Escuchando ó leyendo la historia de los descubrimientos científicos, repitiendo las experiencias de los creadores de la ciencia, lo mismo que las que de ellas se derivan, y pudiendo así juzgar de los progresos realizados, el alumno adquirirá pronto, con el juicio y el hábito de la observación, lo que puede llamarse espíritu científico.

Olvidaría, sin duda, después de la salida del liceo las fórmulas y las teo-

(1) Lechatelier, *L'enseignement Scientifique. Revue des Sciences.*

(2) Cámara de Diputados; 13 de Febrero de 1902; *Journal Official.*

rías, pero tendría el juicio formado, sabría reflexionar y poseería el arte de aprender cuando esto le fuera necesario. No olvidaría jamás, porque habría pasado á su inconciente, lo que hay de más fundamental en las ciencias, ó sea los métodos. Estos métodos y estas cualidades de juicio pueden aplicarse también á las obligaciones corrientes de la vida, como á empresas científicas, industriales ó comerciales.

Tal es la fuerza de un buen método, que da á los espíritus mediocres la aptitud para el trabajo útil. Uno de los informantes de la investigación, M. Blondel, lo ha señalado perfectamente en el siguiente pasaje:

«El desarrollo económico del pueblo alemán es tan inquietante para nosotros porque trabaja la industria y la ciencia lo mismo que hace la guerra, calculándolo todo de antemano, enseñando á los estudiantes tan numerosos que, después de una buena preparación general, frecuentan los laboratorios de las Universidades, no solo la ciencia hecha, sino la profesión de sabio, profesión que no se improvisa, que exige un aprendizaje, y que los dones naturales no podrían reemplazar. Lo que caracteriza á la producción alemana es que, merced á una enseñanza mejor concebida que la nuestra, un gran número de trabajo de detalle, secundarios pero útiles, se hacen y se hacen bien por jóvenes mediocres, que no tienen la inteligencia tan viva como los nuestros, pero que saben en definitiva (modelados de un modo mejor) producir una suma considerable de trabajo útil».

La importancia de ciertas fábricas alemanas, y he visitado este año un buen número de ellas, es el carácter de laboratorio de investigación científica que han sabido darles (1)

La consecuencia final de la enseñanza en las Universidades alemanas ha sido este prodigioso desarrollo de la ciencia y de la industria, que nosotros aun no comprendemos y que atribuimos en vano á laboratorios que no sobrepujan materialmente á los nuestros, puesto que los hemos copiado. Este desarrollo se debe por completo á los métodos de enseñanza que no hemos sabido aplicar. Merced á ellos, los alemanes absorben cada vez más todas las industrias basadas sobre métodos científicos. Hay que ir á Alemania para encontrar fábricas de electricidad que tengan 17.000 obreros, fábricas metalúrgicas que ocupen á 43.000, establecimientos capaces de producir 300 locomotoras por año, y fábricas de productos químicos que produzcan anualmente por valor de mil millones. Y la fuerza de producción de la industria alemana es tal que, para evitar los derechos de aduana protectores, los patronos no vacilan en establecer fábricas en los países extranjeros. Existe en París una fábrica alemana de objetivos fotográficos y microscópicos, que ocupa ya á 300 obreros, y cuyos productos son tan superiores á los nuestros que en pocos años los objetivos franceses se han hecho invendibles y no se utilizan sino para los instrumentos de pacotilla.

Y mientras prosigue este formidable movimiento, nuestros hijos continúan aprendiendo los conocimientos más fútiles, enseñados de la más fútil manera. Nosotros preparamos para exámenes y concursos, mientras los demás pueblos preparan á sus hijos para las realidades de la vida. En vano lucharemos mientras no comprendamos las causas de nuestra decadencia.

G. LE BON.

(1) Pueden encontrarse más detalles en los catálogos colectivos de las industrias fisico-químicas alemanas de la Exposición de 1900.