

Algunos principios metodológicos para la enseñanza de la Física al nivel de la Enseñanza Media en su grado superior

Por HUGO SAINI
(Decano de la Sección Científica del Colegio de Ginebra)

I. INTRODUCCION Y CONSIDERACIONES GENERALES

1.º Durante el mes de agosto de 1955 tuvo lugar en Ginebra la primera Conferencia Internacional sobre la utilización de la energía atómica para fines pacíficos. Esta Conferencia iba acompañada de una exposición internacional encargada de poner en evidencia los principios de la Física nuclear y sus aplicaciones técnicas destinadas al bienestar de la humanidad del mañana. Esta exposición, que fué una revelación para todos los visitantes, se sitúa al principio de una era nueva para la humanidad. Es absolutamente necesario que todos los profesores de la Enseñanza Media hayan llegado a comprender este acontecimiento: *¡Preparad hoy la civilización atómica, porque mañana será demasiado tarde!*, exclama la UNESCO, contestando a un deseo expresado en diciembre de 1953 ante las Naciones Unidas por el Presidente Eisenhower: «La era atómica ha progresado tan rápidamente que cada ciudadano del mundo debería tener alguna idea, al menos aproximada, de la extensión de su desarrollo y de su extrema importancia para cada uno de nosotros.»

La preparación de esta civilización del mañana debería comenzar ya en la Escuela Primaria, pero será, sobre todo en las escuelas de cultura general, donde tendrán que ser repensados los programas. Una renovación de la enseñanza científica al nivel de la Enseñanza Media es una necesidad imperiosa. Sin embargo, una discusión académica sobre el valor de las «humanidades clásicas» y de las «humanidades científicas» saldría del cuadro de este informe; podría ser hecha en otro sitio, a propósito de la confrontación de estos dos tipos de humanidades.

Una revisión de los métodos de enseñanza y de los programas no soporta a mi modo de ver, discusión alguna: se impone ante la evidencia de los progresos científicos y técnicos de nuestra civilización actual.

2.º En una perspectiva orientada hacia el porvenir—el futuro ha comenzado ya para los espíritus abiertos—, la enseñanza de las ciencias en su nivel medio, el único que nos ocupa en este informe, no puede ya ser hecha únicamente «ex cathedra». La enseñanza moderna pide, en el curso de sesiones de trabajos prácticos, una participación manual activa de todos los alumnos. Esta participación de la mano en el trabajo intelectual, cuya dignidad constituye, fué ya reconocida por los griegos: «El hombre piensa porque tiene una mano», dijo Anaxágoras; verdad repetida por Bergson cuando afirma que «la inteligencia parte de los dedos y sube al cerebro».

La actividad manual de los alumnos permitirá a cada uno de ellos expresar las capacidades de su personalidad. Mostrará también que la realización concreta y práctica, por medio de aparatos de concepciones teóricas abstractas, exigen mucha ingeniosidad, paciencia y tenacidad. Será una buena educación del carácter.

Además, una tal enseñanza experimental está destinada a hacer nacer con claridad y exactitud en el espíritu de los jóvenes alumnos las nociones científicas que son frecuentemente difíciles de comprender, y casi siempre muy alejadas de las imágenes simplistas o falsas del «sentido común». ¡Qué sorpresa ver hervir agua a 20 grados centígrados, ver encenderse un tubo luminiscente sostenido en

la mano en un campo eléctrico de intensidad suficiente! ¡Qué maravilla ver la aparición de las líneas nodales en las placas de Chladni!

3.º Los principios metodológicos, que se enunciarán en la segunda parte de este trabajo, pueden esclarecer una enseñanza de la Física destinada a jóvenes cuya edad está comprendida entre los diecisiete y diecinueve años.

Examinemos primero cuáles son el fin y el valor de la enseñanza de la Física en una escuela de cultura general. He aquí cómo respondo a estas cuestiones:

- 1.º No se trata de formar a físicos, sino de despertar vocaciones.
- 2.º No se trata de decirlo todo ni de enseñarlo todo, sino de elegir juiciosamente lo que actualmente es necesario para la comprensión de la ciencia de nuestra época.
- 3.º Se trata, sobre todo para el joven, que mañana será culto, de enseñarle a pensar y comunicarle un método de trabajo.
- 4.º Se trata, en fin, de mostrar o de esforzarse por mostrar cómo el físico piensa y trabaja, cómo construye su ciencia, cómo trata de comprender la realidad del mundo exterior.
- 5.º El estudio de la Física se convierte entonces en un capítulo de la teoría del conocimiento. Este estudio debe mostrar cómo el físico *inventa* nociones, conceptos, al principio sencillos y bastos, después cómo descubre en la naturaleza objetos, partículas, fenómenos, que son más complejos, más finos que los que había imaginado inicialmente.

Este análisis de la Física enseña a los alumnos que la ciencia es relativa, siempre abierta, en continuo desarrollo, porque nuestros conocimientos no son jamás ni definitivos ni absolutamente ciertos.

Presentada así, la Física es una parte de las humanidades modernas; nos enseña el papel y el lugar del hombre entre sus semejantes y su integración en el universo que le rodea.

4.º En Ginebra, el curso de Física que se da a los alumnos del Colegio Superior se extiende en una duración de dos años consecutivos: primero, en clase del penúltimo curso (dos horas por semana); después, en clase del último curso (dos horas de clase y otras dos de laboratorio).

El programa adoptado es el siguiente: en clase del curso penúltimo: mecánica-calor; en clase del último curso: electricidad-acústica-óptica.

Los elementos de Física atómica, la iniciación en el mundo del átomo, el descenso a la escala atómica, tienen lugar desde el comienzo de la clase del curso penúltimo. Como es preciso un cierto tiempo para acostumbrarse a las nociones nuevas necesarias para pensar el mundo atómico, esas nociones son introducidas por pequeños contactos, después recordadas y comentadas a lo largo de las lecciones, según los asuntos estudiados. Cuando los alumnos llegan ya a clase del último curso, tienen entonces ya una «mentalidad» y bases que les permiten captar los «modelos atómicos», punto de partida de una enseñanza moderna de la electricidad, enseñanza cuyo eje se apoya en las nociones de cargas y de campos.

II. ENUNCIADO DE ALGUNOS PRINCIPIOS METODOLOGICOS

«Pensamiento y experiencias son las fuentes de nuestro conocimiento.» «Todo hombre culto debe tener ideas claras.»

Estos dos epígrafos advierten al lector sobre el sentido de los principios metodológicos que van a ser presentados.

Siguen sus enunciados, acompañados de un comentario. La forma de estos enunciados podrá aparecer dura y hasta algo «imperativa». Si la he elegido es para dar a estos principios—que me parecen importantes—más nitidez y concisión. Ruego al lector que las extraña, que las suavice poniéndolas en condicional.

1.º *Es preciso que los conceptos que están en la base de la Física sean adquiridos por la experiencia. Tales conceptos son «conceptos experimentales» o también «conceptos operacionales».*

La visión clara de una noción nueva—masa, cantidad de electricidad, átomo, electrón...—es el resultado lentamente obtenido de una suma de experimentos realmente efectuados y vividos.

Lamaré «concepto experimental» al concepto así adquirido y así construido en el pensamiento. El físico americano P. W. Bridgmann designa la misma idea con el nombre de «concepto operacional». Por ello, en lo sucesivo emplearé indistintamente ambas designaciones.

Un concepto operacional se construye en el espíritu, en la inteligencia del joven estudiante, a partir de la realidad observable, a consecuencia de un gran número de experimentos manuales y mentales. La riqueza, la precisión de tal concepto, van enlazadas con las operaciones que ha sido preciso llevar a cabo para adquirirlo; condensa y evoca las propiedades conocidas que se refieren a la noción objeto de estudio.

Dense ustedes cuenta a costa de qué suma de experimentos difíciles, reflexiones arduas y abstracciones fué adquirido el concepto de energía y de su conservación por nuestros predecesores. Esta maduración necesitó, como todos saben, cerca de dos siglos de investigación.

La elaboración experimental de los conceptos permite a aquellos de nuestros alumnos capaces de pensar claramente, hacer la distinción entre las diversas nociones: las que son de esencias racionales, las que son de naturaleza intuitiva y las que pertenecen a la sensibilidad del alma. El concepto operacional sitúa los diversos planos de actividad de la persona humana, tanto los que proceden de la razón, como los que deben satisfacer al corazón y a la afectividad, que son igualmente importantes.

Frente a estos conceptos experimentales se encuentran nociones no realmente vividas, no realmente experimentadas o que escapan a la medida; son los «conceptos metafísicos», porque vienen, ciertamente, después de la Física.

Una enseñanza que postula que los conceptos científicos deberían ser adquiridos de forma operacional, se separa de una enseñanza tradicionalmente dogmática, escolástica, que en realidad no es ya una enseñanza, sino un catecismo, que, en cierto modo, impone las nociones sin justificación. Sin embargo, yo no me opongo absolutamente a un cierto catecismo que, por razones de oportunidad, será provisional, pero con la condición de advertir antes a sus oyentes. En efecto, no siempre es fácil ni posible, sobre todo al comienzo de una enseñanza (o de una investigación), tener ya conceptos claros y definitivos; puede uno sentirse entonces tentado a introducirlos «gratuitamente» para promover una partida rápida.

Estas observaciones conducen, naturalmente, a formular un segundo principio que completa lo que acabo de decir.

2.º *Hay que hacer una distinción, una discriminación clara, entre las nociones fundamentales (o nociones primeras), que no podemos definir, y las nociones derivadas, que son definibles.*

Un maestro de Física experto debe tener presente en su espíritu la arquitectura, la estructura de su disciplina. Debe saber que reposa sobre nociones fundamentales e indefinibles (que, observémoslo, pueden ser arbitrarias), nociones primeras, nociones de partida, tales como el número, la longitud, la masa, el tiempo, la carga eléctrica, el electrón, el protón.

Estas nociones primeras son también esencialmente «conceptos operacionales», nociones experimentales que han debido ser construidas en nuestro espíritu.

Unas se han formado efectivamente durante los primeros años de nuestra exis-

tencia: número, espacio, tiempo. En cuanto a las demás, que no aparecen inmediatamente en la vida corriente: masa, carga eléctrica» corresponde al maestro de Física hacerlas nacer en el espíritu de sus alumnos. Se planteará la difícil pregunta: ¿Cómo me las he de componer para introducir la noción nueva? ¿Cómo hacer surgir el concepto? ¿Cómo crear la intuición de esta nueva magnitud? Para ello tendrá que imaginar y realizar un gran número de experimentos apropiados y sobre todo saber esperar que el trabajo mental de adquisición y de madurez se cumpla y llegue a su final en el pensamiento del alumno. Un niño de cinco años no ha adquirido todavía la noción de tiempo ni la del número 642. ¿Qué representa para quien no esté enterado esta proposición: «La masa del Sol es de 2.130 kilogramos»? Para quien realiza experimentos, la noción que tiene de una cosa se afina y enriquece sin cesar.

Para las magnitudes derivadas: velocidad, aceleración, trabajo, la definición ayudará a comprender la noción; pero aún así, el concepto debe ser adquirido, vivido experimentalmente. La aceleración es un buen ejemplo de ello, porque es una noción difícil. Maestro y alumnos probarán de hacer el paso desde el plano concreto de la sensación al del concepto representado por la escritura, la notación habitual de la aceleración ($a = \Delta v / \Delta t$).

3.ª Hay que poner en planos diferentes los «Principios» de la Física descubiertos por los genios (Isaac Newton, Sadi Carnot, Albert Einstein) y los caracteres intuitivos más o menos inmediatos de ciertos fenómenos relativamente sencillos.

No crea que un alumno pueda descubrir solo uno de los grandes principios de la Física: Principio de la igualdad de la acción y de la reacción; Principio de la conservación del trabajo y su generalización a la conservación de la energía, etc. Por ello es preciso darle su enunciado. Al contrario, se podrá tratar de deducir de él lógicamente algunas consecuencias, comprobándolas después por experimentos juiciosamente elegidos. Aquí, bien claro se ve, es preciso emplear el método deductivo. Es preciso *descender* del mundo de los principios, que en cierto modo son «revelados», al mundo de la experiencia sensible. El camino que hay que seguir es: enunciar la proposición, demostrar matemáticamente una consecuencia, después comprobar experimentalmente la exactitud del resultado anunciado.

La ley del espacio recorrido e en el movimiento uniformemente acelerado:

$$e = \frac{F}{2M} t^2.$$

En que F es la fuerza motriz (en newtones), M la masa que se mueve (en kilogramos) y t el tiempo durante el cual la fuerza ha actuado (en segundos), puede deducirse de los principios de Newton. La ley de Arquímedes, que da el empuje sufrido por un cuerpo sumergido en un fluido, es también una consecuencia de las leyes de la mecánica y de las propiedades de los fluidos.

Si se trata de estudiar un fenómeno ya familiar (calentar agua) o encontrar las propiedades de un cuerpo de forma geométrica simple (resistencia eléctrica de un hilo cilíndrico), nos esforzaremos por guiar la intuición del alumno, entonces se utiliza la inducción. Es preciso ascender desde el caso particular concreto hacia el mundo de las leyes generales.

Bien se ve que el arte del maestro consiste en dosificar juiciosamente la inducción o la deducción, según la naturaleza, inmediata o difícil, de la noción o del fenómeno que hay que hacer adquirir al alumno. De hecho, es todo el problema psicológico de la adquisición de las nociones el que se plantea. El conocimiento del desarrollo histórico puede también, en muchos casos, ayudar útilmente al maestro en su tarea.

4.º Hay que precisar en el espíritu de los alumnos la diferencia que existe entre la definición de una noción, que es general, y el valor particular que toma la magnitud de que se trate en tal aplicación, en tal problema.

Si he definido la fuerza por el enunciado: fuerza = masa \times aceleración, no sé aún nada sobre una fuerza particular: la de este resorte o la debida a aquel campo eléctrico sobre esta carga eléctrica particular. Hay que acomodar, adaptar la definición a la ley de fuerza de que se trate.

Para el caso del problema de una fuerza elástica, por ejemplo, el proceso mental se desarrollará según el camino siguiente:

- 1) Definición general $F = Ma$
- 2) Ley particular $F = kx$
- 3) Adaptación $Ma = kx$

De ello resulta que la aceleración a es proporcional al alargamiento x y a la constante k del muelle considerado.

Para el caso de un campo eléctrico que actúe sobre una carga q se tendrá el mismo esquema:

- 1) Definición general $F = Ma$
- 2) Ley particular $F = Eq$
- 3) Adaptación $a = E \cdot q / M$

La aceleración es proporcional al campo eléctrico E y a la carga q colocada en este campo, etc.

Si he definido el río como un curso de agua que desemboca en el mar, no sé todavía muchas cosas sobre el Rhin. Hay que ajustar las palabras y decir al que lo desconoce todo:

- 1) El Rhin es un río (definición).
- 2) El Rhin nace en Suiza, atraviesa Alemania, desemboca en el mar del Norte. En sus orillas románticas, castillos medievales son visitados todavía por numerosos turistas, etc. (caracteres particulares).

En otros términos: Conviene definir la noción general (abstracta), después de describir más o menos minuciosamente el caso particular concreto estudiado.

Esto permitirá prevenir, en cierto modo, una confusión que hacen casi todos los alumnos. Así, al comienzo del curso, confunden sin darse cuenta la definición de la aceleración con su valor en tal o cual caso particular, por ejemplo: su valor en el caso de un movimiento uniformemente acelerado, o también, en el estudio de los movimientos, toman la definición de la velocidad, en el caso del movimiento uniforme, para calcular la de un movimiento uniformemente acelerado.

5.º Es preciso indicar el papel que desempeñan las unidades (metro, kilogramo, segundo, amperio) y las dimensiones (longitud, masa, tiempo, carga eléctrica).

Uno de los aspectos del lenguaje del físico es el análisis dimensional; desempeña un papel igualmente en la técnica del ingeniero que en el plano del conocimiento puro. Es un procedimiento de búsqueda poderoso y un medio de conocimiento sobre la naturaleza, sobre la esencia (1) de las magnitudes físicas. Con las cuatro nociones fundamentales, los físicos construyen las otras magnitudes en uso de su ciencia.

(1) Esencia significa lo que en un ser es inteligible y puede servir para definirlo, lo que le hace ser lo que es. La esencia de una cosa son sus atributos fundamentales, de que derivan todas las otras cualidades. (Cf. E. Goblot: «Le Vocabulaire philosophique».)

A partir de las primeras lecciones, se lleva a los alumnos a concebir que el espacio, los espacios, pueden representarse por medio de la dimensión $[L]$.

La naturaleza de una superficie, su esencia, consiste en ser una longitud elevada al cuadrado $[L^2]$ (medida en metros cuadrados); pero una superficie puede también ser concebida como un espacio de dos dimensiones: cosa que hay que aprovechar para hacer una digresión sobre las propiedades de un triángulo trazado sobre un plano, y después sobre las de un triángulo trazado sobre una esfera (una esfera de 40 cm. de diámetro, de cinc, es también conveniente para hacer dibujos con tiza, lo mismo que para hacer experimentos de electrostática).

La naturaleza de un volumen consiste en que es una longitud elevada al cubo $[L^3]$ (medido en metros cúbicos), pero es además un espacio de tres dimensiones. Por extensión $[L^4]$ representará un espacio de cuatro dimensiones. También se le podrá llamar un hipervolumen de cuatro dimensiones. Según las reacciones de los alumnos, se podrá tratar de generalizarlo a n dimensiones.

El tiempo interviene en las definiciones de la velocidad, de la aceleración, en la noción del movimiento. Para preparar el terreno, para ejercitar el espíritu de los alumnos, hago con el tiempo una operación análoga a la que acabamos de hacer con la longitud. El tiempo es representado por el símbolo, la dimensión $[T]$ (medido en segundos). El estudio de los diferentes movimientos acelerados hará aparecer al tiempo multiplicado por sí mismo, es decir, un $[T^2]$ medido por segundos «elevados al cuadrado». Por extensión, se podrá concebir unos $[T^3]$ (segundos elevados al cubo), y lo mismo otros $[T^4]$ (segundos elevados a la cuarta potencia). Ni que decir tiene que cuando los alumnos oyen por primera vez, a propósito de la aceleración, la expresión «segundo elevado al cuadrado», se lee el asombro en sus rostros.

Después, en las clases sucesivas, haremos constar que los dos miembros de una ley, expresada por una ecuación, deben representar la misma noción. Si tenemos una fuerza en el primer miembro de una expresión, el segundo miembro debe ser también una fuerza. Entonces podemos comprobar un resultado, encontrar una ley, daremos cuenta de que una nueva magnitud es efectivamente un «conocimiento antiguo».

Cuando sopla el viento a través de los hilos del teléfono se oye un silbido, un sonido más o menos agudo. ¿Cuál es la ley que nos da la altura del sonido percibido? Los factores que hay que tomar en consideración para resolver este problema son, en una primera aproximación, la frecuencia del sonido que determina la sensación de altura del mismo, la velocidad del viento y el diámetro de los hilos. Con estos tres datos, la altura del sonido es entonces necesariamente proporcional al cociente de la velocidad del viento dividido por el diámetro de los hilos.

Es evidente que para cada noción nueva habrá que dar también, además de sus dimensiones y de sus unidades, un método de medida y ejemplos numéricos que fijen los órdenes de magnitud, límites actualmente conocidos.

6.º *Es preciso establecer la distinción entre «dos seres matemáticos» y los «seres físicos», puesto que su significación y su naturaleza son diferentes.*

En el dominio de las Matemáticas que es la ciencia de lo infinito—, los seres son simples, necesarios, perfectos. Las figuras geométricas son ideales, no materiales, abstractas e independientes de toda escala. Se puede agrandar o empequeñecer indefinidamente un cuadrado: sigue siendo un cuadrado. El resultado del cálculo matemático es exacto o inadmisiblemente. Es justo o falso: no hay grado de exactitud. Los seres matemáticos están, de hecho, en el «cero absoluto».

En el mundo real, en el mundo de las sensaciones, en el universo físico, los seres son complejos, contingentes, imperfectos, en perpetuo cambio. Por ello el conocimiento que de ellos tenemos está sujeto a revisión. Los resultados de nuestras medidas son siempre aproximados, limitados por el grado de agudeza de nuestros

sentidos, por la sensibilidad de nuestros aparatos y por las variaciones de temperatura. Una medida efectuada realmente nunca es exacta, se expresa por un número que contiene sólo algunas cifras. En el laboratorio, los alumnos obtienen, en la mayoría de los casos, resultados con una aproximación de 1 por 1.000, o sea, tres o cuatro cifras significativas. Pero en general, la precisión o exactitud alcanzada es sólo del orden de un pequeño porcentaje, o sea, sólo números con dos cifras seguras.

El abismo que existe entre los resultados de la Física y los de las Matemáticas queda puesto en evidencia por el hecho que podemos calcular «a priori» π o $\sqrt{2}$ con un número que contiene centenares de cifras significativas (¡los mil decimales aproximados de π !), mientras que los mejores resultados de la Física moderna son números que contienen, a cambio de grandes trabajos, a lo más ocho o nueve cifras significativas realmente medidas.

7.º Hay que hacer resaltar la fecundidad que proviene del aspecto cuantitativo de las leyes de la Física que permiten prever resultados lo mismo en el dominio puramente científico que en las aplicaciones prácticas para la vida diaria.

Desde la edad de diecisiete años, un alumno es capaz de hacer razonamientos cuantitativos. Por otra parte, ha sido preparado para ello por las lecciones de aritmética y geometría. Sabe que se puede calcular «a priori» ciertas magnitudes geométricas, tales como los perímetros y las áreas de las figuras simples.

La Física y la Química son ciencias experimentales en las que la medida de las magnitudes ocupa, como en geometría experimental, un lugar preponderante. Por ello, los fenómenos naturales son descritos esencialmente por medio de magnitudes medibles, que tienen sus unidades propias. Gracias al conocimiento de las magnitudes y de las leyes que las enlazan, podemos calcular en los problemas resultados que serán comprobados por experimentos y mediciones.

Se sacará provecho de ello para decir que los progresos espectaculares de las ciencias y de las técnicas dependen en gran parte de este lado cuantitativo de los fenómenos y de las cosas, así como de la posibilidad para el espíritu humano de prever—en el dominio de las ciencias puras—lo que va a ocurrir o de concebir de antemano un aparato. Los ingenieros de la industria calculan, partiendo de las leyes de la Física y de reglas empíricas, las máquinas que se les piden: transformadores, dinamos, turbinas, máquinas atómicas, etc.

8.º Hay que examinar la validez de las nociones en las diferentes escalas de observación: lo mismo en la escala humana que en las escalas que nos rodean, la escala atómica y la escala astronómica.

Las nociones formadas a la escala humana, los conceptos experimentales vividos y adquiridos, ¿serán también valederos para otras escalas de observación? ¿Lo mismo en lo muy grande que en lo muy pequeño? De lo contrario, ¿cómo proceder para crear conceptos adecuados?

Uno de los maestros de la Física francesa, Jean Perrin, lo ha dicho ya en términos excelentes: «No hay noción que permanezca indefinidamente valedera cuando se va apartando cada vez más de las condiciones experimentales en que se formó.» Los físicos contemporáneos van a parar así a Kant. Para este filósofo, habiéndose formado los conceptos de nuestro espíritu en los límites de la experiencia sensible, llegan a ser de uso ilegítimo cuando les aplicamos a conocimientos que, por esencia, están fuera de estos límites: las antinomias de la razón pura son ejemplos de ellos.

Mi maestro C. E. Guye se expresó de la misma manera cuando afirmaba que «la escala de observación es la que crea el fenómeno», proposición que da lugar al corolario «es igualmente la escala de observación la que crea la ley».

En la escala humana percibimos las longitudes comprendidas entre el milímetro y algunos kilómetros. Los tiempos vividos que nos son familiares se desarrollan desde el segundo a un siglo como máximo. Podemos desplazar a una distancia apreciable masas comprendidas entre una fracción de gramos y algunas toneladas. De la luz, de la radiación emitida por el Sol, no percibimos más que una fracción ínfima, lo mismo en frecuencias que en intensidad.

¿Cuál es la realidad que existe más acá y más allá de estos estrechos límites de nuestras perfecciones humanas? Es la realidad de los mundos atómicos y astronómicos. Al nivel de esas escalas, ¿tendrá aún el concepto de longitud una significación para distancias inferiores a 10^{-14} centímetros o superiores a algunos miles de millares de años luz? La misma pregunta puede plantearse para la noción de tiempo.

Como no tenemos más que una intuición muy vaga y conceptos operacionales todavía rudimentarios, los mundos atómicos y astronómicos nos parecen aún tan extraños y desconcertantes. Basta pensar en el número de partículas llamadas «elementales»: ha pasado de dos (el protón y el electrón) de hace medio siglo a más de veinte en nuestros días. La cándida sencillez de los primeros modelos atómicos dejan lugar, hoy, a sistemas cuya complejidad crece sin cesar. Los átomos méscos son los últimos ejemplos de ellos.

III. ALGUNAS OBSERVACIONES FINALES Y RESUMEN

a) Este trabajo—que se dirige a colegas—expone algunos principios de metodología que un profesor de Física de Enseñanza Media debe tener presentes en su espíritu cuando da sus lecciones. Estos principios no están necesariamente destinados a ser discutidos ante los alumnos, sino que deben servir de hilo director, de guía, en el trabajo pedagógico del maestro que enseña.

b) Yo no he dado en este informe noticias sobre los diferentes dispositivos experimentales que sirven para ilustrar la marcha de la clase ni sobre los aparatos puestos a disposición de los alumnos en el laboratorio. Este material experimental permite comprobar la mayor parte de los enunciados formulados ante los alumnos. Sin embargo, suministraré, durante mis charlas con los compañeros, las indicaciones necesarias a este respecto.

c) Doy, sin embargo, algunos informes útiles sobre los trabajos prácticos efectuados por los alumnos. Las sesiones de laboratorio duran dos horas, como término medio, y los alumnos trabajan en grupos de dos. Están distribuidos en dos «laboratorios unidad» que pueden recibir, cada uno de ellos, a seis grupos de dos personas.

Después de la sesión, los alumnos redactan un escrito sobre lo que han hecho. El plan de esta redacción ha sido dado, con comentarios y ejemplos, durante una sesión introductiva que ha tenido lugar al comienzo de curso. Durante esa sesión se ha hecho, en común con los participantes, una serie de medidas de longitud y de tiempo que sirven de ejemplos para poner en cuadernos resultados numéricos obtenidos y para discutir la precisión de las medidas obtenidas.

Proponemos a continuación el plan para la redacción del informe escrito o de la exposición oral del experimento efectuado:

1. Escribir el título del ejercicio, así como el lugar, la fecha, la temperatura del laboratorio, la presión atmosférica y la humedad.
2. Recordar brevemente las definiciones y la teoría que se refieren al experimento estudiado.
3. Describir el método de medida utilizado; dar croquis, esquemas y eventualmente una fotografía.

4. Ordenar todas las lecturas, todas las medidas, en un cuadro: el registro de experimentos. Es el documento de partida y al que se refiere el profesor para la comprobación del trabajo.
5. Dar los cálculos numéricos de los resultados intermedios y finales.
6. Estimar la precisión sobre las diferentes medidas y sobre el resultado final.
7. Hacer las gráficas sobre papel milimetrado, indicando claramente sobre los dos ejes las unidades empleadas. Un título menciona la magnitud representada en función de la variante elegida. Adoptar una escala conveniente apropiada para cada uno de los ejes. No reunir los puntos observados por una línea quebrada poligonal, sino tratar de hacer pasar la curva teórica, si es conocida, a través de los puntos dibujados.
8. Observaciones personales y conclusiones.

Hemos de decir que la mayor parte de los alumnos no siguen ciegamente este plan, que, por lo demás, sólo es dado a título de indicación. Se deja una cierta libertad a los alumnos que pueden expresar sus personalidades, sus dotes literarias o sus talentos de dibujantes.

Este liberalismo, compuesto de firmeza y de respeto de la personalidad del alumno, me parece uno de los mejores principios pedagógicos.

RESUMEN

Este informe expone algunos principios metodológicos que un maestro de Física de Enseñanza Media debe tener presentes en su espíritu. Estos principios no están necesariamente destinados a ser discutidos ante los alumnos, pero deben servir de hilo director, de guía, en el trabajo pedagógico del profesor.

Estos principios dan muy grande importancia a la formación experimental de los conceptos, tanto si son los conceptos de base, de partida de la Física clásica, como si son los de la Física atómica o los conceptos secundarios derivados de los primeros. Estos conceptos deben haber sido «vividos», tanto en el plan de las sensaciones como en el de la inteligencia para ser plenamente asimilados.

Se distinguen igualmente los diferentes mundos: el de la Física y el de las Matemáticas, que no tienen ni los mismos objetos de investigación ni los mismos métodos de trabajo. Finalmente, son subrayados, llamando la atención sobre ellos, el dominio de la inducción, de la deducción, así como el aspecto cuantitativo de los conceptos con las unidades, las dimensiones y las leyes de la Física. Se pone de relieve las consecuencias, fecundas para la Humanidad, que provienen de las posibilidades de predicciones teóricas y de las realizaciones técnicas industriales.

**LA GRAVITACION UNIVERSAL Y
EL CAMPO GRAVITARIO TERRESTRE**



Por ANTONIO MINGARRO


Pesetas 6

Ediciones de la Revista «ENSEÑANZA MEDIA»