

METODOLOGIA

Sugerencias a los Profesores de Física

Por EDUARDO DEL ARCO ALVAREZ
(Inspector de Enseñanza Media del Estado)

CREO que la pregunta más importante, que puede hacerse un Profesor de Física es: *¿Cómo debo de enseñar la Física? pero la respuesta a esta pregunta no puede darse de un modo inmediato, ya que está supeditada a la que se dé a preguntas, como: ¿A quién se va a enseñar?, ¿qué fines se persiguen con el aprendizaje de la Física?, y aún todas estas preguntas están contenidas en un sector mayor, el de los fines de la enseñanza en general.*

De las preguntas planteadas, la que en este artículo tiene contestación más concreta es la segunda, puesto que me voy a referir a la enseñanza de la Física en su grado medio, y la respuesta es: a los alumnos de Bachillerato. Pero aún dentro de esta limitación del campo de acción, hay matices, según que nos refiramos a alumnos del Bachillerato Elemental, Superior o Preuniversitario.

De ésto, no debe deducirse que los métodos de enseñanza de la Física sean tan particulares que para cada edad hay un método, sino que estando éstos supeditados al fin que se pretende lograr, éste es distinto según la edad del alumno (edad en la que supone formación). A mi entender los fines que se persiguen, no sólo en la enseñanza de la Física, sino en la enseñanza en general, están contenidos en tres grandes grupos:

- 1.º Adquisición de determinados conocimientos básicos.
- 2.º Formación intelectual.
- 3.º Formación social y humana.

El contenido del primer grupo es misión específica del Profesor de cada materia, mientras que la segunda, es decir formación intelectual, es la integración de los esfuerzos del conjunto de Profesores, por lo que es necesaria cierta conexión entre ellos y fundamentalmente en los de materias afines. El Centro con la personalidad que le imprima su Profesorado, la Dirección, la organización, el ambiente, etc. son los que contribuyen a la formación social y humana del alumno.

Entonces, la segunda pregunta, «¿Qué se pretende con el aprendizaje de la Física?», la podemos contestar, de un modo bastante general ya que es común a la de otras materias, diciendo, que lo que se pretende es la adquisición de determinados conocimientos básicos y el desarrollo intelectual del alumno, o dicho de otra forma, queremos que el alumno aprenda de-

terminadas cuestiones de paso que se estimula el desarrollo de sus facultades intelectuales.

En su proceso normal de enseñanza, que abarca desde la Escuela Primaria hasta la Facultad, la cantidad de conocimientos a adquirir por el alumno, está supeditada al grado o escalón de sus estudios y considerado en su totalidad es un proceso cíclico. El desarrollo que de su capacidad intelectual puede hacerse en cada momento, está supeditado en general, a la edad intelectual del alumno, que no siempre coincide con el grado de sus estudios, y este desfase, entre edad intelectual y grado de enseñanza es de efectos perturbadores, sobre todo cuando la edad intelectual es inferior al grado de enseñanza.

Ahora nos preguntamos, ¿qué métodos seguiremos, para que el alumno a la vez que aprende desarrolle sus facultades intelectuales? Si a aprender llamamos, a la facilidad del alumno para repetir lo que ha oído, bastaría cualquier método memotécnico, para este fin, sin que se hubiera producido otro efecto, que un desarrollo en su memoria. Para mí, aprender es saber y ésto significa conocer y comprender. Lo primero, conocer, es más fácil que lo segundo, comprender, pero esto es más importante que lo primero, sobre todo en este período de la enseñanza.

Ya que se trata de enseñar Física, veamos cuáles son las particularidades de esta Ciencia. ¿Qué es la Física? Dejando a un lado una definición puramente científica, la Física es una parte de la Ciencia, que nos permite conocer e interpretar parte del mundo físico o material que nos rodea. Esto supone observación para tener el conocimiento y crítica para poder interpretar, ya que la crítica de los hechos que observamos, nos lleva a su interpretación; pero la observación de los hechos naturales no siempre puede realizarse en condiciones adecuadas, por lo que conviene su repetición en condiciones más favorables, lo que supone comparaciones, medidas, etc., en una palabra experimentación. No descubrimos ningún secreto si decimos que la Física es Ciencia experimental, pero sí conviene insistir en que sin el experimento no podemos hacer Física.

La Física, como Ciencia que nos ayuda a conocer el mundo físico que nos rodea no inventa nada, lo más que hace es descubrir, o mejor poner de manifiesto, determinados aspectos del mundo que nos rodea. El mundo físico es igual ahora y se rige por las leyes análogas al de la época Secundaria o Primaria, cuando el hombre no existía sobre la Tierra, de la misma forma que el planeta Marte es igual ahora que lo será el día en que el hombre pueda llegar a él y su naturaleza será la misma independientemente de que el hombre conozca o no «su Física» si es que es distinta de la nuestra. El hombre es elemento pasivo ante el mundo físico; se limita a observar, interpreta hechos, deduce leyes que le permiten cierta medida prever, pero de ahí no pasa. No ha inventado ninguna ley que obligue a la Naturaleza a obrar de forma distinta a como es ella.

Puesto que para «hacer Física» hace falta observación y crítica, éstas son las cualidades que deben desarrollarse en el alumno; hay que enseñarle a observar los hechos naturales, hay que conducirlo en la observación, para que vea el aspecto fundamental del fenómeno, de aquí la necesidad del experimento, ya que no siempre en el fenómeno natural es fácil-

mente visible y medible su aspecto fundamental. Por ejemplo, el cuerpo humano varía de volumen como consecuencia de las variaciones de presión atmosféricas y de las variaciones de aquél podría deducirse el valor de ésta, pero esto es tan difícilmente observable, que si hubiese que medir la presión atmosférica por tal procedimiento, habríamos renunciado a hacerlo. En cambio el experimento de Torricelli, físicamente es lo mismo y su observación muy sencilla; en este experimento, cualquiera que sea el diámetro del tubo, su inclinación, la cantidad de mercurio, etc., siempre hay algo que permanece constante y es la distancia entre el nivel de mercurio dentro y fuera del tubo, distancia que sólo varía al variar la presión atmosférica. Esta es la parte fundamental del experimento, lo demás es accesorio y el alumno debe de distinguir entre lo que es fundamental y lo que no lo es, para poder comprender el fenómeno. Cualquiera Profesor de Física comprenderá esto y no voy a entrar en más detalles. Como este experimento lo son todos los de Física, no son más que repetición, en condiciones favorables para su observación, de lo que ocurre en la Naturaleza. Hay que poner de manifiesto lo fundamental, que es de donde sacamos las consecuencias que nos permiten llegar a la ley, objetivo de la Física y que representa condensado en pocas palabras, lo que ocurre en la Naturaleza. Como dice Mach, llegar a descubrir determinado sector de la Naturaleza, con la mayor economía posible de pensamiento.

Según esto, el camino para enseñar la Física puede ser: observación de la Naturaleza; planteamiento del experimento más adecuado; crítica del mismo y deducción de la ley, es decir el mismo camino que sigue el investigador, volver a redescubrir las leyes: método heurístico. Sin embargo creo que tal sistema, en el escalón del Bachillerato es de difícil realización, se necesitan Profesores ampliamente formados y en muchos casos la aplicación del método presenta dificultades insalvables. En el caso de experiencias muy sencillas tal vez pueda aplicarse el método, pero conforme se va profundizando en el estudio, es prácticamente imposible que el alumno pueda llegar a deducir ley alguna, a no ser que la ayuda prestada por el Profesor sea de tal naturaleza, que ya no se puede hablar de tal método heurístico, pues quien redescubre es el Profesor, que por otra parte ya lo conoce. El investigador que sigue este camino, (no tiene otro) es un hombre intelectualmente formado, el estudiante no, y las dificultades que se le presentarían serían máximas. De la observación, no se pueden deducir leyes más que con un espíritu crítico extraordinario, ya que la interpretación de los hechos o experimentos tiene muchos riesgos, pues se trata de deducir de pocos hechos o experiencias conclusiones generales, válidas para los experimentos realizados y para aquellos similares, que no se han realizado y la dificultad nace aquí ¿dónde está la similitud?

Arquímedes dedujo la ley de la palanca, por la simple observación y partiendo del hecho de que una barra homogénea apoyada en su punto medio, permanece en equilibrio, «porque no hay razón en contra para que no lo esté», es evidente por sí misma y aceptado esto, por sencillas consideraciones dedujo la ley. Este método de razonar tan sencillo, es muy complejo como vamos a ver. Está basado en la evidencia, pero ésta es consecuencia de un proceso mental, consecuencia de la similitud que establece-

mos entre el hecho observado y aquello que nos es habitual. *Cyrano de Bergerac* cuenta en su viaje a la Luna, que en este satélite, sostenían sus habitantes, grandes pesos de hilos muy finos, de sección uniforme, sin que se rompiesen y al preguntar cómo hilos tan finos no se rompían, le contestaron que siendo su sección igual en todas sus partes, no había razón para que se rompiesen por un punto, con preferencia a otro y por lo tanto no se rompían. El razonamiento tiene mucho de común, con el de Arquímedes y la palanca, pero en el caso de los hilos a nadie le parecerá evidente que no se rompan, porque estamos acostumbrados a que ocurra lo contrario. Como se ve, la evidencia es consecuencia de una educación, de una manera de ver las cosas y el Profesor de Física debe de tener cuidado en utilizar la evidencia como argumento. Preguntemos a un profano si al dejar un cuerpo libre en el aire cae o no; lo seguro es que conteste que sí. Es evidente que debe de caer y sin embargo hay multitud de casos en que no cae; una hoja de papel con un poco de viento, no sólo no cae sino que se eleva; si aumentamos el espesor de la hoja y con ello su peso, caerá pero si aumentamos la fuerza del viento no cae. ¿Dónde está la zona de separación para saber si cae o no? El cuerpo puede ser muy pesado y no caer, a condición de que la fuerza del viento sea suficiente y si el experimento lo hacemos de manera que no se advierta la existencia de tal viento, veremos cómo una lámina de plomo, en lugar de caer, asciende. ¿Qué interpretación dará el profano a este hecho? Durante cientos de años fué evidente, que el Sol giraba alrededor de la Tierra, «era lo que se veía». Como se ve, el insuficiente conocimiento de los hechos, puede conducir a situaciones como las relatadas. ¿Y cuándo tenemos la seguridad de que conocemos todos los aspectos del hecho? Todo ésto está supeditado a un proceso de educación mental; el físico verá muchas cosas donde el profano no ve casi nada. Esta forma de llegar «a ver» donde no ven los demás, no se consigue más que a fuerza de observar y aprender a observar.

Posiblemente este hábito de las cosas, esta evidencia en los hechos, sea causa que frena el avance científico. Este principio de la razón suficiente, es la negación de toda razón. ¿Cuántos hechos tenemos delante de nosotros de los que no buscamos su explicación, porque ésta la vemos en su propia existencia? Durante siglos la humanidad vió caer los cuerpos sin tratar de buscar una explicación, porque era lógico que cayeran. Pregúntese a un niño «¿por qué cae un cuerpo?»; lo más seguro es que conteste que «porque sí». ¡Qué insuficiente es la razón de este principio de razón suficiente! Este principio es la pantalla que se interpone entre nuestra mente y el hecho, que miramos sin acertar a ver.

Para investigar el mundo físico hay que renunciar a la evidencia, ya que si no, nos encontramos en un círculo vicioso, pues siendo la evidencia función del conocimiento, no podemos tener el conocimiento como consecuencia de la evidencia. Decía Descartes, que para investigar la verdad es necesario poner todo en duda por lo menos una vez y dejando a un lado su sentido racionalista, esto es cierto en el campo de la Física.

Como vemos, no es tan fácil la interpretación de los hechos observados y no es misión que pueda encomendarse a un alumno, al que tenemos que enseñar a observar. No se le puede pedir que deduzca conclusiones de he-

chos mal observados. Por ello creo que es preferible el camino inverso: enseñar lo que actualmente tenemos como suficientemente probado y comprobar con el experimento, o el hecho natural, la certeza de lo que se ha dicho. Sabiendo la conclusión a la que tiene que llegar, le es más fácil poner de manifiesto el aspecto fundamental del hecho experimentado, que sirvió para sacar las conclusiones y llegar a la ley que se le ha explicado. El fin, educación de la facultad observadora y crítica, se logra más fácilmente por este camino. Insistimos en que la parte experimental es fundamental. Si alguna ventaja tiene el método heurístico, es que no se puede desarrollar sin el experimento y este otro segundo método de enseñar, si no va acompañado del experimento que comprueba, convierte a la Física, ante el alumno, en una Ciencia dogmática y nada más lejos de la realidad, pues la Física es cierta en tanto que los hechos le dan la razón. Hay que llevar a la mente del alumno una cierta inseguridad, a menos de modo absoluto, de las teorías físicas, ya que para que una teoría sea cierta, es preciso que explique los hechos conocidos y los que se puedan descubrir, y como éstos pertenecen al futuro, nunca podemos tener seguridad, de que la teoría actual no será modificada por posteriores descubrimientos. En cada tiempo se explica lo que se sabe, pero hay que tener el espíritu abierto al cambio de las teorías. Newton, que fué un genio en tantos aspectos de la Física, lo es también en el enunciado de sus teorías; así la de la gravitación la enuncia diciendo: «en la Naturaleza todo pasa como si los cuerpos se atrayesen...», es decir, de su conocimiento del mundo físico a él le parecen que las cosas eran así. Pero deja la puerta abierta a posteriores modificaciones y ¡por supuesto que las ha habido! Sin embargo en toda teoría, siempre hay algo de verdad, desde el momento que se explica algo. Por ejemplo decir que una mesa es un tablero con cuatro patas es una verdad a medias, ya que para un artista en el que domina el aspecto estético sobre el funcional, es más fundamental, el trazado, la forma, la parte escultural, etc., pero sin embargo aun para éste, siempre quedará el tablero y su soporte. Ejemplo claro de ésto lo tenemos en la evolución de las teorías acerca de la naturaleza de la luz: primero, la naturaleza corpuscular; posteriormente ondulatoria y en el momento actual, corpuscular y ondulatoria.

Por esto decía que hay que comunicar al alumno cierta inseguridad en la estabilidad de las teorías físicas, pues, incluso a veces, razones didácticas pueden hacer que se expliquen teorías que sabemos que no son ciertas, pero que sin embargo pueden ayudar a la comprensión de los fenómenos naturales. El progreso científico no es más que la evolución de las teorías y estamos muy lejos del conocimiento del mundo físico, a pesar de que a finales del siglo XIX, creo que fué Millikan, el que dijo: «El edificio de la física está totalmente construido, sólo faltan pequeños detalles» y estos detalles fueron: teoría de los cuantos, las teorías relativistas, la mecánica ondulatoria, teoría sobre la naturaleza de la luz, teorías atómicas, descubrimiento de las partículas elementales, radiación cósmica, energía atómica, etc., total: ¡pequeños detalles! ¡Consecuencia de la egolatría!

Creo que esto, que está en la mente de todos los Profesores de Física,

pero que conviene poner de manifiesto, puede ayudar a formar la mente de nuestros alumnos, en un sentido más realista.

Pasando a un aspecto más concreto de la enseñanza, hay que cuidar las definiciones de las magnitudes, ya que, si la definición es correcta, en ella debe de contenerse de un modo implícito, las propiedades de la magnitud que se define, ya que si no es así la definición es incompleta y podrá ser modificada de forma que contenga tal propiedad. No se olvide que la Física es ciencia de magnitudes, no de números y por lo tanto definiciones tales como: «la velocidad es el espacio...», «la densidad es la masa...», «la presión es la fuerza...», «potencia es el trabajo...», etc., son totalmente erróneas ya que la velocidad no es un espacio, ni la densidad una masa, etcétera; en cada caso se trata de magnitudes distintas y el hecho de que el número que mide la velocidad coincide con el que mide el espacio recorrido en la unidad de tiempo en el movimiento uniforme, no autoriza el empleo de tales incorrectas definiciones.

El que con tres unidades mecánicas y una eléctrica, se puedan medir todas las magnitudes físicas, nos dice que excepto cuatro, correspondientes a esas cuatro unidades fundamentales, todas las restantes derivan de ellas, lo que da una gran unidad a la Física, ya que establecidas las definiciones de estas cuatro magnitudes, por procesos deductivos o por cálculos numéricos, se pueden deducir todas las restantes. A partir de la definición de una magnitud, o de un experimento realizado o explicado en la pizarra (a veces el experimento descrito en la pizarra puede ser más claro que realizado en el laboratorio), por un proceso deductivo se llegará a una fórmula que hay que interpretar para deducir la ley; en la mayoría de los casos la interpretación puede ser realizada por el alumno y a continuación comprobada con el experimento.

En la explicación de cualquier cuestión hay un planteamiento inicial, que es fundamental hacerlo correctamente y que es fruto de la observación de los hechos naturales, y a partir de estas condiciones previas por medio del cálculo matemático, o del razonamiento basado en el conocimiento físico previo, se llegará a una fórmula que interpretada conduce a la ley. En este proceso de tres partes: planteamiento, desarrollo y consecuencia final, lo verdaderamente importante desde el punto de vista físico, son la primera y tercera partes, ya que son las eminentemente físicas, mientras que la segunda, la mayor parte de las veces desde el punto de vista físico es meramente auxiliar, generalmente matemático y desgraciadamente es la parte que el alumno aprende con más frecuencia, con lo que podemos asegurar que no aprende Física.

Por ejemplo, el estudio del péndulo lleva consigo un planteamiento inicial del problema: definición de lo que es un péndulo, magnitudes que intervienen en el momento en que se separa de su posición de equilibrio, y que deben de quedar perfectamente establecidas de acuerdo con lo que ocurre con el proceso experimental; aplicando ahora conocimientos previamente adquiridos y por un proceso matemático más o menos complicado, se llega a la fórmula matemática que nos da el periodo de oscilación y de cuya interpretación deducimos las leyes que rigen su movimiento. No es Física el cálculo matemático, pero si lo es el establecimiento inicial

y la interpretación final de la fórmula obtenida. La primera parte, planteamiento del problema a la vista de lo que el hecho natural nos brinda, es Física, ya que es la reproducción en la pizarra o en el papel de un hecho físico, lo que solamente podemos hacer, si la observación del hecho real fué la adecuada, y el poner de manifiesto las condiciones que en él concurren, de un modo correcto, es lo que permite el razonamiento, disponer del instrumento matemático para llegar a la fórmula.

El Profesor es responsable, si el alumno lo único que aprende es el cálculo matemático; no podrá sentirse orgulloso de ser un Profesor de Física, si lo único que aprenden sus alumnos es un proceso matemático más o menos complejo.

PLAN DE BACHILLERATO 1957

	<u>Ptas.</u>
DECRETO Y CUESTIONARIOS.....	16
PROGRAMAS DE PRIMER CURSO.....	10
» » SEGUNDO » 	12
» » TERCER » 	12
» » CUARTO » 	14
» » QUINTO » 	14
» » SEXTO » 	14

(CON ORIENTACIONES METODOLOGICAS)

PEDIDOS A: REVISTA "ENSEÑANZA MEDIA"

La Matemática y su Enseñanza actual

Por el

DR. D. PEDRO PUIG ADAM

«Corpus» de la doctrina didáctica del ilustre Profesor, recientemente fallecido, a quien se debe la renovación de la Didáctica de la Matemática en España. Libro fundamental para el estudio y la enseñanza de esta disciplina.

SUMARIO

Parte primera. LOS PRINCIPIOS GENERALES

Capítulo I.—UNA VISION HUMANA DE LA MATEMATICA: 1. La Matemática y la Belleza.—2. La Matemática y el hombre.

Capítulo II.—MIRANDO AL FUTURO (Nuevas perspectivas): 1. Sobre Cibernetica.—2. Sobre la moderna teoría de la información.—3. Un ingenio eléctrico para resolver problemas de lógica formal.

Capítulo III.—EL MOVIMIENTO DIDACTICO RENOVADOR: 1. La evolución de la didáctica matemática en nuestra generación.—2. Tendencias actuales en la enseñanza de la Matemática.—3. Balance de cuatro años de labor en España.

Capítulo IV.—LOS NUEVOS PRINCIPIOS DIDACTICOS: 1. Sobre la enseñanza heurística de la Matemática.—2. Decálogo de la Didáctica matemática media.—3. Las últimas recomendaciones de Ginebra.

Parte segunda. LA DIDACTICA MATEMATICA EN ACCION

Capítulo V.—DIDACTICAS ESPECIFICAS: 1. Sobre la enseñanza de la Geometría en la Escuela primaria.—2. Sobre la enseñanza de la Aritmética en la Escuela primaria.—3. La didáctica matemática a lo largo de los ciclos medios.

Capítulo VI.—EL MATERIAL DIDACTICO MATEMATICO: 1. Lo concreto en la enseñanza matemática.—2. Generalidades sobre los modelos.—3. Algunos ejemplos de material didáctico multivalente.—4. Material didáctico matemático extraído de la vida.—5. La Matemática en el juguete.—6. Los films matemáticos.

Capítulo VII.—MUESTRAS DE ENSEÑANZA HEURISTICA: 1. Sobre sistema de numeración.—2. Sobre congruencias y clases residuales.—3. Otra lección sobre congruencias y divisibilidad.—4. Sobre la estructura operatoria de la raíz cuadrada.—5. Sobre las naciones de proporcionalidad.—6. Una iniciativa al empleo de letras.—7. Multiplicación y división de polinomios.—8. Sobre ecuaciones lineales y sistemas.—9. Progresiones aritméticas de orden superior.—10. La división del espacio en regiones.—11. Iniciación a las máquinas de calcular.—12. Iniciación al Algebra de conjuntos.—13. Sobre permutaciones.—14. Iniciación a las simetrías en el plano.—15. Situaciones didácticas obtenidas por plegado.—16. Haces de elipses e hipérbolas homofocales.—17. Posiciones de rectas y de planos.—18. Volúmenes de prismas y pirámides.—19. Iniciación a la función lineal y su representación gráfica.—20. Introducción heurística del rigor y precisión de lenguaje.

APENDICES: 1. La formación del profesorado matemático de grado medio.—2. La vocación matemática.—3. En la encrucijada. Consejos de un guía.
4. Nuevo mensaje de despedida.

Ptas. 110

Ediciones de la Revista «Enseñanza Media» - Alcalá, 30, 5.º - Madrid (14)