

# La simplificación del material escolar de Física y Química

Por J. ESTALELLA (\*)

(Catedrático)

**S**ALVO rarísimas excepciones, cuantos aparatos se han construido y se construyen con destino a "la enseñanza" de la Física, adolecen del mismo error fundamental: sustituir lo natural por lo artificioso; lo usual por lo extraño, y determinar, junto con los libros en que tales instrumentos se describen, el mismo pernicioso efecto: desorientar al maestro respecto a cómo debe estudiarse la Física.

Hablábame no ha mucho un padre, que llevaba a su hijo, estudiante del bachillerato, a examinar en el Instituto de la capital de provincia, de la manera cómo se podían seguir los cursos en el pueblo; habíase encargado de los estudiantes el maestro, persona muy culta, que realizaba una excelente labor.

—Y así continuará mi hijo—decíame el padre—hasta el quinto curso, pues como entonces tendrá que estudiar Física, y en el pueblo no tenemos aparatos...

—¿Cómo?—interrumpí—. ¿Qué queréis decir con estas palabras: "en el pueblo no tenemos aparatos"? Pues ¿no tiene yunque y fragua el herrero, balanzas el panadero, niveles y plomadas el albañil, sierras el carpintero, arados el labrador? ¿No tienen cerraduras las puertas, cuestras los caminos? ¿No hay norias en las acequias, bombas en las cisternas, porrón en la mesa, regaderas en el jardín, poleas en los pozos, regueras en los huertos, grifos en las fuentes, sifones en las tuberías, aliviaderos en los estanques, surtidores en los patios? ¿No juegan con cometas los niños? ¿No elevan aerostatos de papel en las grandes fiestas? ¿Y los fueles? ¿Y las botellas de agua carbónica? ¿Y los lagares que se llenan de gas carbónico? El médico empleará termómetro, las ladrilleras, encenderán el horno; en la hojalatería, fundirán metales; tendréis pianos en los salones, órgano en las iglesias, campanas en el campanario, espejos en los tocadores; muchas personas usarán lentes; llevaréis gemelos al teatro; habrá, quizás, algún fotógrafo profesional y seguramente decenas de aficionados; os recrearéis los domingos con proyecciones cinematográficas. Y de electricidad, ¿qué diré? Que en vuestros domicilios hay contadores, interruptores, conmutadores, cortacircuitos, lámparas; timbres eléctricos, pilas, pulsadores; pararrayos, teléfono, micrófono. Mas, ¿y esa máquina de coser, con sus mecanismos de increíble perfección? ¿Y ese gramófono del vecino? ¿Y esa estufa, y esa chimenea de tan buen tiro? ¿Y el automóvil en que habéis venido? ¿Y las bicicletas? ¿Y los cuchillos, los sacacorchos, y las tijeras y las tenacillas? ¿Y los relojes, de pared y de bolsillo? ¿Y toda esta juguetería infantil de pitos, aros, pelotas, trompos, panderetas, diabolos? Y en la Central eléctrica, ¿no os van a permitir una visita? Y en tal taller y en tal fábrica, con sus motores de gas, sus máquinas de vapor, sus turbinas hidráulicas; y el telegrafista también os mostrará los aparatos de su estación. ¿Y no habrá algún aficionado a la meteorología con su instalación de barómetros, termómetros, psicrómetros, pluviómetro, anemómetro, veleta? ¿Y no existirá ya a estas horas una turba de poseedores de estaciones radiotelefónicas, con sus detectores, amplificadores, condensadores, bo-

(\*) Reproducidos, por su valor didáctico y el interés de muchas de sus sugerencias—que no han perdido actualidad—, la conferencia pronunciada en 1920, en un Concurso de Maestros, por el entonces Catedrático del Instituto de Tarragona D. J. Estabella. Fue publicada por la «Revista de Segunda Enseñanza», Madrid, 1925.

binas de self, etc., etc.? *Convengamos, amigo mío, en que ningún gabinete te puede ofrecer tan nutrida provisión de aparatos como tu mismo pueblo.*

Cien veces más he tenido que dar análoga contestación a padres, profesores y estudiantes que, alegando falta de aparatos, creían justificar el haber limitado a lecturas el estudio de la Física. Y, tan claras como eran mis indicaciones, aún me veía obligado a insistir para empezar a convencerles de que no había más, y de que lo que ellos llamaban especialmente "aparatos de Física" no tenían, sobre los enumerados, más que el empaque, el convencionalismo, la inutilidad.

### LOS VERDADEROS APARATOS

Comprendo que lo que ellos echaban de menos con la denominación de "aparatos de Física" eran los "aparatos de demostración", que han invadido, en efecto, libros y gabinetes, hasta no dejar espacio para los instrumentos usuales. Les faltaban aquellas brillantes construcciones de vitrina, que están esperando todo un año la llegada del día en que, desempolvadas, salen a comprobar tal ley, para recomenzar después su absoluto quietismo. Pero no son así los verdaderos aparatos de Física: el polipasto trabaja de continuo en los andamiajes; el torno, en los talleres; el histólogo fatiga su vista con el incesante empleo del microscopio; en el taquímetro, inseparable compañero del topógrafo, se ven los efectos de la intemperie; todo el día se oye el monótono canto del transformador en las subcentrales eléctricas, y el tecleo del Hugues, en la estación telegráfica. Así son de útiles y laboriosos todos ellos. Por sus frutos los conoceréis. Desconfiad de aquéllos que sólo una vez al año, y por breves momentos, se despezan.

### LOS "QUE NO FUNCIONAN"

No deseo que se confunda esta crítica mía con otra, superficial y pueril, que se ha tratado de hacer de los gabinetes de Física de las Universidades, de los Institutos de Enseñanza Media y de las Escuelas españolas: se ha dicho, en artículos y conferencias, que están llenos de aparatos que "no funcionan". Este verbo "funcionar" aquí aplicado, ya revela la escasa transcendencia de la censura: corresponde a la triste idea de ver en los aparatos algo así como cajas de música, juguetes mecánicos, autómatas; barraca de feria, en fin. Desde mi punto de vista, esa cuestión del funcionar o no, es menos que secundaria: es indiferente. Dispongo en mis clases de tres bombas de aire (o empleando el término clásico, máquinas neumáticas): dos estropeadas, "que no funcionan", y una en buen estado, que funciona. Pues bien: yo os aseguro que me prestan para la enseñanza muchísimo mejor servicio las dos primeras que esta última; cien veces han sido desmontadas y remontadas por mis alumnos, y les ha enseñado esta operación mucho imposible de aprender en la máquina no estropeada. Hay más: un automóvil estropeado, "que no funcione", sería un excelente arsenal de mecanismos para todo un curso de mecánica.

### EXPERIMENTOS FRACASADOS

Debe desaparecer también aquel ridículo miedo infantil, demasiado extendido entre el vulgo ilustrado y entre los mismos profesores, al experimento que sale mal. Ensayo que resulta bien de primera intención, enseña mucho menos que el que exige ser repetido en variadas circunstancias. Y cuando, a pesar de todo, no tiene éxito, sin embargo, de algo sirvió.

## EXCESO DE PREPARACION

Decíame un profesor, no ha mucho, que él siempre prueba, antes de comenzar la clase, todos los experimentos, para evitarse la vergüenza de que le "salgan mal" ante sus discípulos. Mas, entonces, ¿cómo aprenderán éstos nunca a vencer las dificultades? Creo que ha de haber bastante distancia entre un profesor y un prestidigitador.

## LA FERIA

Tengo noticia de que en algunos establecimientos modernos de enseñanza, en vez de conservar almacenados en armarios los aparatos de demostración, los han dispuesto en mesas, en forma muy fácilmente accesible, de suerte que en cualquier momento, con una sencilla manipulación, por ejemplo, apretando un botón, o dando vuelta a un manubrio, la máquina "funcione", dando la comprobación deseada de la ley física a que está destinada. De esta manera, el aparato no será tan perezoso como el encerrado; pero su trabajo, por arbitrario, por caprichoso, será tan antieducativo como antes, y en conjunto, el gabinete habrá adquirido un aire deplorable de espectáculo. Además, por este sistema acaba de extinguirse, como veremos más adelante, uno de los más importantes factores de la formación del estudiante de Física, que no está en la estricta comprobación de la ley, sino en la preparación para redescubrirla.

## MODELOS A ESCALA REDUCIDA

Ocupando el escaso sitio que dejan los aparatos de demostración, hallaréis también en los gabinetes unos modelos de los instrumentos usuales. De muy pocos creo justificada la existencia: menos coste, por ejemplo, que unos modelos reducidos de sistemas de troclas, dorados y barnizados, y con sus cordoncillos de seda, tendrían unos aparejos corrientes, de hierro, madera y sogas de cáñamo o esparto: yo creo que en la elección de los primeros únicamente interviene un miedo excesivo, en maestros y discípulos, a lastimarse o ensuciarse las manos. ¿Cómo podrá el estudiante del pueblo quejarse de la falta de estas reproducciones defectuosas, si tiene a su disposición los originales, manchados quizás de yeso y cemento, pero reales, en plena actividad, cruzando al peso que soportan?

Además, la reducida escala a que están contruidos esos modelos da lugar, a veces, a situaciones ridículas. En el mismo modelo clásico de poleas y polipastos, el constructor ha debido tener en cuenta la proporción en que han de estar para el equilibrio las pesas representativas del esfuerzo y de la carga (potencia y resistencia); así, en el polipasto de seis poleas, la carga tiene que ser séxtuple que el esfuerzo. Pero en este valor de la carga entra el peso del ternal móvil, y en consecuencia, la pesa que en realidad puede sostenerse en el aparato, es apenas mayor, y quizás menor que la que actúa como esfuerzo. Para solucionar esta cuestión, el constructor, "creyendo" sin duda "interpretar los deseos de los profesores", ha colocado como carga una pesa hueca, que por el tamaño parezca seis veces mayor que el esfuerzo. Así se evitan preguntas "impertinentes" de los estudiantes.

Claro está que semejante cuestión deja de presentarse en el empleo corriente de los ternaes usuales, siempre aplicados a vencer resistencias incomparablemente superiores al propio peso.

## COMPLEJIDAD DE LA COMPROBACION

¿Mas cómo comprobar las leyes físicas con los objetos usuales? ¿No van a resultar éstos inadecuados? ¿No convendrán otros de especial disposición?

Mi opinión es ésta: las leyes físicas que no se pueden poner en claro con los instrumentos usuales (útiles, herramientas, aparatos empleados en las distintas profe-

siones), se estudiarán con preparaciones, lo más sencillas, lo más vulgares posibles, rehusando sistemáticamente el empleo de instrumentos especiales de demostración.

Aún creo que puede hacerse una afirmación más rotunda: "siempre que "en la enseñanza elemental" de la Física, para estudiar tal ley no quede otro recurso que emplear un instrumento complicado construido exproseso, más vale suprimir este estudio". En muchas ocasiones he podido observar lo mismo: si una ley se demuestra con un aparato complicado, el alumno atribuye a la complicación del aparato el cumplimiento de la ley, y esta falsa atribución es difícil de extirpar, porque es subconsciente. El día de la lección, nuestro discípulo comprenderá la ley, y comprenderá con todo detalle el mecanismo del instrumento que se empleó para comprobarla; pero pasados unos días, cuando el recuerdo empiece a disiparse, sobre su vaguedad flotará la idea de una ley que se cumplía en el laberinto de un aparato extraño.

### EN CLASE Y EN CASA

Es quizás el más enojoso de los peligros pedagógicos. El divorcio entre la clase y la vida; entre la lección y la realidad. Dos mundos existen en la mente del escolar: uno, lleno de actividades reales, donde se goza, se trabaja, se juega y se sufre con naturalidad, y otro, rígido, de actividades ficticias, donde todo es artificioso: el placer, el trabajo, la diversión, el dolor. Vencer esa dualidad, conseguir la refundición de estas dos imágenes en una sola, hacer que se vea en la escuela un trasunto de vida, ha de ser la más eficaz de las labores que puede emprender un maestro.

Pues bien; a la duplicidad señalada coadyuva el modo de comprenderse generalmente la enseñanza de la Física, y especialmente el uso de los aparatos de demostración: aquellos que sólo se usan en la escuela y no en la vida práctica.

Un día tenía yo ocupado a un estudiante en la determinación del peso específico de un líquido con el frasco de densidades o picnómetro. (De paso señalaré la posibilidad de sustituir ventajosamente este frasco, por otro común de tapón esmerilado, con una ranura longitudinal practicada con la lima en el mismo tapón). (P). Esforzabase, sin conseguirlo, en que le quedase el frasco lleno precisamente hasta la señal de enrase, marcada hacia la mitad del tubo-tapón. Llenaba el frasco completamente, introducía el tapón, y el líquido ascendía más de lo conveniente, aflojaba un poco el tapón, y se derramaba demasiado. Al fin, se decidió a pedirme consejo: —Si tuviera algo para quitar el exceso de líquido sin aflojar el tapón... —¿Qué quieres? —Quizás un tubo delgado, o una pipeta... Entonces comprendí que también mi discípulo era víctima de la dualidad de mundos, e intenté corregirla: —Atiende: procura hacer esta composición de lugar: no estás en clase, no estás en el laboratorio, te hallas solo en tu casa, en el comedor o en la cocina, ensayando, porque sí, esta misma operación. ¿Qué harías allí para conseguir el enrase? La respuesta no se hizo esperar: —Enrollaría un pedacito de papel secante, lo introduciría por el extremo del tapón hasta tocar el líquido... —Pues haz aquí lo mismo y acertarás.

No sólo en el uso de objetos se puede apreciar esa dualidad en cuya virtud el escolar atribuye cierto sentido irreal, académico, a cuanto se relaciona con la escuela: ocurre lo mismo en el lenguaje: nada costaría preparar una nutrida antología de contestaciones escolares: evidenciarían la existencia de una construcción gramatical, de un léxico, típicos, que el mismo estudiante se avergonzaría de emplear en su casa o entre amigos.

¿Quién dudará de que la Física ha de ejercer una poderosa influencia para remarcar el lamentable divorcio si se sigue con la afición a los aparatos fósiles, o para irlo atenuando poco a poco merced al estudio y al uso cotidiano de los objetos e instrumentos más vulgares, que adquirirían así la categoría de material escolar, entrando en las clases con todos los derechos y con el mayor beneficio para el honor y prestigio de la Escuela?

## IMITACION DE APARATOS

Comprendo, sin embargo, que este cambio de rumbo ha de producir alguna desorientación entre los maestros acostumbrados al antiguo régimen. Se ve claramente, podrán decirme, que los mecanismos, por ejemplo, se estudiarán con tanto detalle y perfección en la máquina de coser, en la de escribir, en el reloj de pared, y en el de bolsillo, en las bombas y en los motores en actividad como en los mejores modelos mecánicos guardados en los museos; pero ¿cuál de estos mecanismos vamos a aplicar, por ejemplo, a la comprobación de las leyes de la palanca? ¿Con qué combinación vamos a sustituir a los aparatos clásicos de que nos hablan los libros y nos ofrecen en sus catálogos los constructores?

Deseo contestar a esta pregunta, después de haberle dado esta otra forma: ¿Con qué disposiciones se aprenderán las leyes de la palanca? Dejemos de recordar los aparatos clásicos de demostración; si los detesto, detesto igualmente, y a veces más, todos los esfuerzos hechos para imitarlos. No hablemos de ellos; no los tomemos nunca por norma o por modelo. Todos llevan el estigma del proceso mediante el cual se ha permitido construir un objeto de elevado precio para los profesores de traje de etiqueta que, encerrados en su torre de marfil, temían lastimarse los dedos por el contacto con la ruda realidad. Sólo excepcionalmente pueden sacarse de aquellos aparatos enseñanzas. En general vale más proceder, razonar y avanzar como si no existiesen.

## APARATOS HISTORICOS

Entre los aparatos clásicos cabría, no obstante, hacer algunas excepciones a favor de los de valor histórico: el tubo de Mariotte, el soporte de corrientes móviles de Ampère, esos aparatos y disposiciones que efectivamente coadyuvaron a un estudio o descubrimiento deben, si se poseen, mostrarse a los alumnos, y si el gabinete los contuviese en gran número, cabría utilizarlos en un estudio en cietro modo histórico de la Física. No pueden, en efecto, confundirse con los aparatos especialmente destinados a la enseñanza. Mas su carencia no debe en modo alguno descorazonar al profesor, quien siempre encontrará manera de suplirlos.

## LAS LEYES SE INVENTAN

Tampoco se trata de "demostrar" ni de "comprobar" leyes, sino de aprenderlas, y quizás mejor de descubrirlas.

Conocí un profesor de Física que, cuando "tomaba la lección" a sus discípulos, contestaba invariablemente si tergiversaban alguna ley: "Las leyes, cuando no se saben, se inventan". Y no atinaba en que su frase, que él creía irónica, encerraba todo un sistema pedagógico, radicalmente más lógico y eficaz que el anodino de sus clases.

Las leyes se inventan; se investigan. Así se forma la ciencia. Y así se aprende. En la investigación debe basarse todo sólido aprendizaje. Lo demás es hojarasca.

## LA FISICA ES UNA CIENCIA NATURAL

Olvidamos con demasiada frecuencia que la Física es esencialmente una ciencia natural, que tiene todas sus raíces en la observación de la Naturaleza, por más que en su desarrollo emplee las matemáticas, como emplea la lógica y el lenguaje; pero sin que haya derecho a considerarla como una ampliación de las matemáticas, como no se la considera tampoco como una ampliación de la lógica o de la gramática.

Verdad es que existe una Física matemática. Pero para la escuela de Primera enseñanza es como si no existiera: que no cabe hablar a los niños de sólido invariable, punto material, gases perfectos. No es la hora del método deductivo.

### FISICA EXPERIMENTAL SIN EXPERIMENTOS

Hay que evitar la tendencia a exponer la Física con razonamientos para cotejar después las consecuencias. Hay que huir de la tentación de dejarse caer en el cómodo sistema de formulación y discurso. Todos recordamos todavía los tiempos de las solemnes clases experimentales, de cuatrocientos alumnos pasivamente sentados, lecciones consistentes en elocuentes piezas oratorias, y profesores de traje de etiqueta y aires de mago o prestidigitador. Entonces podíase oír a catedráticos de Universidad trinar contra la instalación de clases prácticas y ponderar las excelcitudes de la mal llamada clase experimental.

¡Estériles lecciones ampulosas! Estudios sin nervio, limitados a "comprobar" de vez en cuando en mediocres y aun pésimos instrumentos, con inhábiles manos los resultados de un razonamiento. ¿Residuo escolástico medioeval andrajosamente vestido con retazos de estudios experimentales? ¿Perniciosa influencia del arcaico prestigio que la palabra pomposa "Cátedra" tenía todavía en las escuelas y en el pueblo? Sea de ello lo que fuese, dejemos de hablar de comprobaciones y demostraciones.

### EL PROFESOR GUIA

No han de ser así, no son así ya nuestras clases. Si rehusamos por un lado a nuestros escolares los aparatos hechos, tampoco hemos de darles por otro lado las leyes hechas. Ciencia no vista nacer y formar por quien en ella va a iniciarse, es ciencia muerta. El estudiante ha de sentir la creación del conocimiento. El papel del profesor es muy análogo al del guía que acompaña al excursionista. Este ha de descubrir el paisaje. Este ha de correr, saltar, trepar, ver, admirar, comprender, abarcar. El paisaje le aparecerá como cosa nueva, que por primera vez se muestra a ojos humanos, se siente, y se interpreta, si el guía, prudente, psicólogo, maestro, acierta a retirarse en la penumbra. Guía que no se percibe, gobierno que no se advierte, si esto sabe ser el profesor, la ciencia se presentará a los ojos de sus discípulos con una naturalidad y con un vigor que tendrán por efecto algo que pongo muy por encima del mismo conocimiento: el entusiasmo.

### LA PALANCA

Volviendo ahora a la pregunta que dio lugar a tanta disgresión, la podremos formular así: ¿Qué objetos pondremos en manos de los alumnos para que descubran, para que estudien, las leyes de la palanca?

Un listoncito de sección triangular ventajosamente sustituido por el doble diámetro, y una regla plana, no excesivamente delgada, dividida en centímetros y milímetros (P). Mejor es que esta división la hagan los mismos alumnos, pegándole encima una tira de papel engomado en que hayan dibujado previamente aquellas divisiones. Con el canto de una lima harán una muesca en el punto medio en dirección normal a la longitud de la regla, y por esta muesca apoyarán la regla sobre una arista del listoncito o doble decímetro. (Si la lima fuese de sección triangular, también ella puede ser empleada como punto de apoyo). En general, la regla no quedará en equilibrio: pero con una pinza de alambre como las empleadas para unir varias hojas de papel o con cualquier otro medio, se recargará la rama más ligera a una distancia mayor o menor del apoyo, hasta conseguir el equilibrio. Entonces ya no necesitan

más que algunas monedas de cobre. Colocarán unas a la derecha, otras a la izquierda del apoyo. Y cuando consigan el equilibrio (ya variando la cantidad de monedas, ya variando la distancia al apoyo) anotarán sus condiciones, por ejemplo:

### CASOS DE EQUILIBRIO

20 céntimos a 10 cm. a la derecha, con 10 céntimos a 20 cm. a la izquierda.

20 céntimos a 10 cm. a la derecha, con 5 céntimos a 40 cm. a la izquierda.

30 céntimos a 15 cm. a la derecha, con 10 céntimos a 45 cm. a la izquierda.

El profesor no ha de hacer más que atender a que se proceda correctamente, como el guía al excursionista, no debe decir más que palabras que las estrictamente indispensables.

Obtenidos esos datos cuanto más numerosos mejor, el profesor hará que los alumnos escriban en vez de céntimos gramos (la moneda, les dirá medio en chanza, no actúa aquí por su valor monetario, sino por su peso) y en seguida les invitará a tratar de reconocer entre la variedad de los números una ley. Sólo excepcionalmente dará con un alumno que la descubra. En general, como el guía, les ayudará un poco. ¿Y si probásemos de multiplicar en cada dato los gramos por las respectivas distancias al apoyo? A los pocos segundos la ley quedará descubierta: Ya lo tengo, dirá uno; y a continuación lo dirán casi todos. —¿Pues qué sucede? —Que el producto de la derecha es igual al de la izquierda. Muy bien: he aquí que acabáis de descubrir lo mismo que descubrió Arquímedes, en Siracusa, en el siglo III antes de Cristo. No hay que decir que con alumnos aprovechados, ahora se puede seguir complicando las condiciones, aplicando más de dos fuerzas a la palanca, etc.

### UNA OBJECION

A un profesor "antiguo régimen" le exponía yo un día esa misma operación, que acababan de realizar mis alumnos. —¿Y qué tiempo han empleado —pregunté— para realizar toda esta manipulación?

—Dos días: dos sesiones de una hora.

—Pues en sólo diez minutos yo les explico a mis alumnos esta ley y se la comprueban.

—Magnífico, amigo mío. ¿Pero puede usted asegurarme que el conocimiento adquirido por sus alumnos es comparable al adquirido por los míos? ¿Se han hecho igual cargo de la ley los unos que los otros? ¿Qué raíces profundas habrá echado el grano sembrado por usted? La audición, la lectura, la visión, ¿pueden haber tenido el mismo efecto que la manipulación? Si me contesta usted afirmativamente, tendré que burlarme todos aquellos que para conocer Inglaterra, para conocer América, deciden visitarlas, arrojando las molestias del largo viaje, sus peligros, su duración, y el cuantioso gasto. Cuando en su casa, cómodamente sentados junto al hogar, y hojeando un Baedeker de veinte pesetas podrán rápidamente adquirir el mismo conocimiento de aquellos países.

### ORIGEN DEL CONOCIMIENTO

Además de olvidar ese profesor el sencillísimo principio de que lo que interesa no es hacer mucho, sino hacerlo bien, desconocía, o aparentaba desconocer, que enseñar Física no consiste en inculcar conocimientos, sino en re-crearlos, como no es plantar un bosque llenar un campo de ramaje, que a los dos días se habrá secado. El origen de los conocimientos físicos está en la investigación (observación y experimento), y no está en la explicación o en la lectura. Ni el libro, ni el profesor, pueden nunca sustituir a la actividad del estudiante.

## MAS SOBRE LA PALANCA

No se crean agotadas con la disposición descrita, las posibilidades experimentales para el estudio de la palanca. La he descrito sólo a modo de ejemplo; pero un bastón, una tabla, una caña, darán al maestro laborioso diversidad de motivos de experimentación para sus alumnos. Los míos utilizan a veces unos largos jalones o pértigas que les presta el profesor de Geometría (y Topografía). Colocándolas horizontalmente, en equilibrio sobre el borde de un pupitre, y de modo que uno de los extremos oscile entre dos barros de una silla, que sirven de tope para impedir que la palanca se incline demasiado en ningún sentido. Sobre la pértiga van colocando pesos (kilogramos, medios kilogramos, etc.), procediendo en lo demás como antes con las monedas (P).

Respecto a ese modo de proceder a gran escala, he notado, cosa por lo demás natural, que es en general el preferido por los muchachos. Las niñas prefieren la experimentación en pequeño, sobre una mesa.

## PRINCIPIO DE LA MAXIMA SIMPLIFICACION

Cabría establecer este principio, aplicable a la enseñanza de toda ciencia: dar al instrumental la mayor simplificación posible: cuando basten los dedos no se usen instrumentos; cuando se puede trabajar con objetos corrientes no se acuda a aparatos especiales. Véase como ilustración de este principio la serie de operaciones mecánicas que realizan mis alumnos sobre el alambre delgado de cobre que les entrego, proveniente de los conductores flexibles empleados en toda instalación eléctrica.

## MEDICIONES SOBRE EL ALAMBRE DE COBRE

En la "determinación del diámetro": Emplean, si disponen de él, el palmer o micrómetro, aparato de bolsillo que es común entre los electricistas, metalúrgicos, etcétera. Desde luego puede adquirirse fácilmente en los depósitos de herramientas para relojero o en las ferreterías. Su precio es barato. Si no disponen de este instrumento, aplican el sistema de multiplicación, enrollando el alambre sobre un lápiz haciendo que las sucesivas vueltas se yuxtapongan con exactitud, y midiendo con el doble decímetro la longitud resultante de la yuxtaposición de un número determinado de espiras, veinte treinta, ciento. También lo miden pesando una longitud conocida y dividiendo el peso por la densidad del cobre; pero esta operación también la hacen a la inversa: deducen la densidad de la longitud, del espesor y del peso.

Los mismos ejercicios practican sobre alambre fino de latón, alambre de hierro, alambre de plomo (el empleado en los cortacircuitos fusibles).

En la "determinación de la resistencia a la tracción", todo el instrumental empleado se reduce a un lápiz y una pesa de 10 a 20 kilogramos. Pasan una, dos, tres, cuatro veces el alambre por la anilla de la pesa y por el lápiz, sostenido horizontal, con la mano, a unos diez centímetros sobre la pesa; si se les rompe el alambre, vuelven a ensayar dando una vuelta más, y así siguen hasta conseguir la elevación de la pesa sin rotura del alambre: dividiendo el peso por el número de ramales del alambre que le sostenía, obtienen el valor de la resistencia del alambre a la tracción. También aquí pueden emplear alambres de hierro, plomo, etc.; en el caso de alambre fino de plomo conviene elegir pesas menores.

Este modo de proceder tiene el inconveniente de que se gasta mucho alambre en los ensayos preliminares. Tratándose de conductores flexibles corrientes, no cons-

titye grave inconveniente, porque con un par de metros de conductor se obtienen muchos metros de alambre fino. Pero en circunstancias especiales, puede convenir ahorrar alambre, y entonces se puede usar el método clásico de colgar de uno o dos ramales del alambre un cubo, de peso conocido, e irlo cargando con agua, arena, pesas u otros objetos, hasta romper el alambre. Los estudiantes muestran predilección por el primer método descrito. Si se posee un diámetro, es todavía más fácil determinar, por tracción, la resistencia de un alambre.

### PROBLEMAS

El ejercicio, realizado en la Escuela de Enseñanza Primaria, puede darse por terminado aquí; pero en la Enseñanza Media tendrá como corolario el problema de determinar la resistencia por centímetro cuadrado o por milímetro cuadrado. El problema, planteado así, como consecuencia de un ejercicio o como aplicación a un fin inmediato, tiene para el estudiante un interés real, bien distinto del que le ofrecen los problemas ficticios, sobre condiciones y datos arbitrarios y propuestos con un fin estrictamente pedagógico.

### RESISTENCIA DE MATERIALES A LA PRESION

Ejercicio análogo al anterior, y al que los escolares prestan gran atención, es el de determinar la resistencia de algunos materiales a la presión. El instrumental que les hago emplear es extraordinariamente sencillo: les doy unas barras de tiza o yeso del que usamos para escribir en el encerado, y les encargo que con sus cortaplumas construyan unos cubitos de un centímetro de lado. De estos cubitos colocan tres equidistantes, repartidos en la circunferencia de la pesa grande de 20 kilogramos. Encima de ellos colocan esta pesa, y la van cargando con más pesas hasta producir el aplastamiento de los cubos. Dividen por tres el peso total, y obtienen la resistencia del yeso por centímetro cuadrado. La misma operación repiten sobre cubos de barro y otros materiales.

### CONCEPTO DEL ENTUSIASMO

No es necesario decir que estas operaciones, tan radicalmente sencillas, las practican los alumnos con todo entusiasmo. Hay algo que observar respecto a esa palabra, "entusiasmo", aplicada en sentido pedagógico. Un entusiasmo activo, fecundo, de afición al trabajo, de satisfacción por la realización de operaciones útiles, de contento por haber llegado con toda naturalidad a mediciones que parecían reservadas a laboratorios superiores, es el que yo persigo y creo que consigo. Pero algunas veces he visto aplicar esta misma palabra al asombro que experimenta el niño cuando se le presenta en experimento o proyección algún fenómeno raro o grandioso, como colosales chispas eléctricas, pintorescos efectos de la polarización cromática, extraordinarias propiedades del aire líquido. Sin negar que este segundo sentimiento sea útil y aun despierte amor al estudio, me interesa distinguirlo de aquel a que yo me voy refiriendo, menos estruendoso, menos espectacular, más íntimo, más casero, al alcance de las más pobres escuelas, y de todas maneras intensísimo.

### FLECHA POR DEFORMACION ELASTICA

Sin dejar todavía este orden de cuestiones, un estante apoyado por sus extremos, en la pared o en cualquier armario, y una tira de papel vertical dividida en milímetros, clavada en la pared o en el fondo del armario, con el punto medio

en coincidencia con el borde posterior del estante, permitirá, cargando la tabla con pesas distintas diversamente distribuidas, medir la deformación bajo distintas cargas de una vida apoyada por dos puntos; y de manera análoga, una barra o palo empotrado en la pared de la clase o del jardín, se cargará con distintos pesos para medir sobre el doble decímetro fijado junto a su extremo, las deformaciones. También aquí se dará al experimento una forma casi meramente cualitativa ("ahora se encorva más que antes") en la Escuela de Enseñanza Primaria, y en cambio, en grados más avanzados, se dispondrán los resultados en tablas y se ensayará la reducción a gráficas.

El ejercicio será más instructivo si se dispone de "vigas" (estantes, palos) de diversas materias, gruesos, anchos y longitudes.

### EL PLANO INCLINADO

En mi clase, cada alumno ha dispuesto siempre de un pupitre con tapa, que se levanta girando alrededor de unas charnelas. Pues bien: éste es el "aparato" que emplean para el estudio del plano inclinado y del rozamiento. Proviénelo de un semicírculo graduado o transportador de cartulina, que ellos mismos se construyen y clavan en el borde del pupitre, de suerte que se mantenga vertical y su centro coincida con el eje de giro de la tapa. Así pueden medir fácilmente en grados las distintas inclinaciones. Si desean modificar la naturaleza de la superficie del plano inclinado, lo revisten de papel, tela, plancha metálica. Colocan encima un objeto de madera, metal, goma, vidrio, barro, etc., y ensayan hasta dar con la inclinación, en que se equilibra el impulso hacia abajo con el rozamiento.

Aplican la ley de ser el coeficiente de rozamiento igual a la tangente del ángulo de rozamiento, y preparan con soltura y facilidad una copiosa tabla de coeficientes de rozamiento de madera sobre madera; madera sobre papel; goma sobre hojalata; vidrio sobre tela de algodón, etc.

### ACCION Y REACCION

He aquí cómo procedo en mis clases para dar a mis alumnos una idea exacta de la existencia de dos fuerzas iguales y contrapuestas en el equilibrio: Un chico, con los ojos vendados y el brazo extendido horizontalmente, sostiene un peso de unos dos a cinco kilogramos, suspendido de un cordel. Quémase el cordel acercándole una llama, y en el momento en que cae el peso, el brazo se levanta hacia el techo, decididamente, como arrastrado por un resorte.

### SIMPLIFICAR, SIMPLIFICAR

No es posible señalar reglas generales para esta sistemática simplificación de la experimentación: cada profesor se encontrará en circunstancias particulares, y debe poner la mayor atención en sacar de ellas el máximo partido. Y si busca con afán y con tesón, se sorprenderá del selecto aprovechamiento que habrá podido obtener de tal o cual cosa, considerada hasta aquel momento como un estorbo.

### PERMANENCIA DEL PLANO DE OSCILACION

No puedo precisar el número de ingeniosas disposiciones que ofrecen los catálogos, existen en los gabinetes y describen los textos para mostrar la permanencia del plano de oscilación del péndulo, esa permanencia utilizada por Foucault para hacer patente el movimiento de rotación de la Tierra.

Incluso corre descrita una simplificación, consistente en armar un trípode de tenedores, que mantengan elevado un tapón y estén colocados encima de un plato. Del tapón cuelga un hilo, que sostiene una bolita: el péndulo. Haciendo girar el plato, gira el trípode y el péndulo, y se observa la invariabilidad del plano de oscilación. Puede utilizarse, en efecto, esta disposición en todas partes; pueden prepararla los mismos alumnos; pero en mis clases prefiero la que voy a describir, pues se trabaja con ella mucho más cómodamente.

Los taburetes de la clase de dibujo consisten en una tuerca de hierro, sostenida por un robusto trípode de madera; en la tuerca puede introducirse, más o menos, el soporte, roscado, del asiento. Análogos taburetes úsanse a veces para sentarse al piano. Pues bien: en el asiento coloco una ancha tabla, y encima de ella un alto trípode (de teodolito, de máquina fotográfica) del que suspendo una plomada cualquiera; con tal combinación, cuando oscila el péndulo, se puede hacer girar suavísimamente su soporte, y observarse con toda perfección la constancia del plano vertical en que oscila.

### TORNILLOS

Claro está que si la clase posee uno de esos asientos rotatorios, no habrá concluido aquí sus usos en la enseñanza de la mecánica y de la física. Su mismo tornillo permitirá un detallado estudio de esta máquina.

### CAIDA DE LOS CUERPOS

Cuando se trata de estudiar la caída de los cuerpos, yo creo que nos produce escalofrío el recuerdo de aquellas monumentales máquinas de Atwood y de Morin, armatostes cancerberos de la puerta del conocimiento de la gravedad. ¿Eran instrumentos de estudio o de tortura? ¿Qué justificación tenía su empleo?

El círculo de papel soltado con la moneda mostrará que, suprimida la influencia del aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración. El cordel suspendido a lo largo del ojo de la escalera, con las bolas atadas a distancia que crecen de abajo arriba, como 1 : 4 : 9 : 16, etc., mostrará al soltarlo, por lo uniformemente espaciado de los golpes, que en la caída libre los espacios son directamente proporcionales a los cuadrados de los tiempos. La pelota que cae rebotando entre las paredes paralelas, en un patio, en una caja, o entre dos muebles, permitirá hallar la misma ley, o la de los espacios parciales. El papel de calco tendido sobre la tabla inclinada del pupitre, graficará la trayectoria de una bola lanzada oblicuamente, y nos dejará reconocer su naturaleza parabólica. Y todos estos resultados clarísimos, se habrán obtenido con medios de coste casi nulo, sin recurrir a armatostes ni cotejar presupuestos.

### CONSTRUCCION DE APARATOS

Estoy por añadir: y sin construir aparatos.

Fácilmente nos inclinamos por este otro lado los que queremos apartar a los maestros de la rutina de los aparatos de catálogo. — ¡Construidlos! ¡Haced que los construyan vuestros alumnos! — Este es el consejo general, y hallaréis en libros y revistas cien descripciones del modo de hacerse con aparatos fabricados en casa, para sustituir a los de los Museos: bancos de óptica, máquinas eléctricas, bombas, mecanismos, etc. No negaré las ventajas del sistema; pero deseo deslindar los campos. Mi opinión es que sin ninguna habilidad manual por parte de maestros o de discípulos, sin nociones siquiera de carpintería o metalistería, y sin disponer de más tiempo que la hora de la lección, pueden utilizar en la enseñanza y en el estudio los objetos más vulgares, no debiendo acudir nunca a aparatos especiales, ni a sus imitaciones.

## VASO CON VERTEDERO

Claro está que alguna vez una ligera modificación introducida en objetos corrientes resulta tan útil, que hay que decidirse por efectuarla. Así, el vaso con vertedero que empleo en mis clases para el estudio de la flotación, principio de Arquímedes, peso específico de líquidos, etc., es una medida de hojalata, de 250 centímetros cúbicos, provista de orificio con canalón a poco más de la mitad de altura. Estos orificios y estos canalones han ido a cargo del mismo hojalatero a quien se han comprado las medidas, sin elevar el precio de éstas (a una peseta la pieza).

## PRINCIPIO DE ARQUIMEDES

Este vaso con vertedero, un pesacartas común y otro vasito para recoger el agua que rebosa del primero es todo el material necesario para estudiar el principio de Arquímedes, su recíproco (aumento de peso del vaso), la flotación, la determinación del peso específico de sólidos y líquidos, con tanto detalle como puedan hacerlo los alumnos de Colegios magníficamente provistos de balanzas hidrostáticas, picnómetros, balanzas de densidades, etc. Y si agregamos a los aparatos mencionados un tubo de ensayo y una probeta graduada, con el aditamento de unos cuantos perdigones, se puede entrar en el estudio de los areómetros, densímetros, volúmetros, graduadores, con tanta facilidad como si se dispusiera de modelos de todos estos aparatos.

Describiré nada más, como operación típica, la determinación por mis alumnos del peso específico de un sólido menos denso que el agua: por ejemplo, la parafina de una vela mariposa. Pénsala en el pesacartas. Teniendo lleno a rebosar el vaso con vertedero, y un vasito de peso conocido al pie del caño, introducen el sólido en el líquido, para desalojar un volumen de agua igual al suyo; puesto que flotando queda una porción fuera del agua, lo empujan con un delgado alfiler hasta tenerlo del todo sumergido. Pesan el vasito con el agua rebosada; restan el peso del mismo vaso vacío; dividen por esta diferencia el peso del sólido en el aire.

## EXPERIMENTACION EN GRAN ESCALA

Las determinaciones de densidades con el picnómetro pueden realizarse con insospechada precisión, trabajando en grande. Una báscula, un cubo común, un jarro, unos cordeles, constituyen todo el instrumental. Pesan el cubo con la báscula; lo llenan de agua a rebosar, vuelven a pesarlo y deducen el peso del agua. Hacen lo propio con arena, y calculan el peso específico de la arena. Así emplean con éxito el mismo procedimiento que en los laboratorios se aplica a la determinación del peso específico de líquidos. O bien llenan el cubo de adoquines de granito; lo pesan; restando el peso del cubo, tienen el peso del granito; rellenan con agua los intersticios; vuelven a pesar; restando el agua añadida del agua que llenaba el cubo sin granito, obtienen el volumen del granito, y de aquí deducen el peso específico. La misma disposición de báscula y cubo, suspendiendo el adoquín de un dinamómetro, les permite hallar el principio de Arquímedes y su recíproco, de aumento de peso del vaso en que el sólido se sumerge.

## EL TEDIO

Sin embargo, tengo que hacer una advertencia, recordando la primera vez que ensayé estos experimentos con mis alumnos (en el Instituto, en el campo): el primer día que se les entregó la báscula, fueron a buscar el cubo, anduvieron con las espuelas de arena, procedieron bulliciosamente con entusiasmo ejemplar. Sólo se

detenían para anotar en su cuaderno, sobre la rodilla, los valores obtenidos. Contagiado yo mismo por el entusiasmo de mis alumnos, les encargué al día siguiente la determinación, con el mismo instrumental, del peso específico del granito. Esta vez procedieron con menor ardor; todavía fueron con la carretilla por el campo, en busca de trozos de granito; pero ya no con tanta algazara como el primer día; sin embargo, el espíritu de la clase era satisfactorio. Intenté darles por tercera vez el mismo instrumental para la aplicación del principio de Arquímedes, y pude advertir cuánto había descendido el nivel de actividad. Los más, se sentaban con sus cuadernos en la mano esperando que los menos les fueran dictando los valores que nuevamente iban hallando, y ni aun en los más activos se descubría el ánimo y la decisión de los días anteriores. ¿Qué había estropeado mi clase? El peor enemigo de la enseñanza: el fastidio.

La visión diaria del mismo instrumental, aunque tuviera que ser distintamente empleado, dejaba de excitar en los alumnos el eficaz interés por lo desconocido. A nueva lección, nuevo instrumental. Nunca más he olvidado este principio.

Y lo olvidan, o no lo han aprendido nunca, los inventores, los constructores y los compradores de unos aparatos de demostración que sirven para varias lecciones y aun para todo un capítulo de la Física (mecánica, hidrostática, luz, electricidad). Son construcciones caras y complicadas, brillantes y monótonas, magníficamente estupidas en los armarios, lastimosamente estupefacientes en clase.

## ESCOLIO

Deseo, sin embargo, precisar el alcance de esta advertencia: no vaya nadie a creer que opino que la báscula, por ejemplo, debe servir una sola vez en el curso. Al contrario: muchas veces en un curso la emplean, sin cansarse, mis alumnos, para distintos fines. Lo que les cansa y aburre, es la sucesión de lecciones con el mismo instrumental.

## COMPOSICION DE FUERZAS

La sogá asida por los chicos agrupados en dos bandos, para probar sus fuerzas, es el mejor experimento de introducción en la teoría de la composición de fuerzas. La misma sogá, con un ramal lateral, tirando tres grupos de chicos en tres direcciones, se presta a la fijación de varios estados de equilibrio, variando el número de chicos y los ángulos de los ramales. El teorema del paralelogramo—figura trazada en el suelo—, más que se comprende, se siente como algo que se ha vivido. Comprendida la composición y descomposición de fuerzas, podrán construir los alumnos la balanza funicular (1) y aplicarla a la medición de pesos.

## GRAFICA DE FERROCARRILES

Una guía de ferrocarriles da lugar a un ejercicio interesantísimo: la construcción de las gráficas de los trenes: en una hoja de papel cuadrículado se marcan sobre el borde izquierdo, de arriba abajo, las sucesivas estaciones con sus distancias relativas; el borde superior horizontal, se divide en 24 partes (correspondientes a las veinticuatro horas del día) subdivididas en porciones de cinco o de diez minutos. Por los puntos de división de la línea (estaciones), se trazan otras tantas horizontales; por las divisiones del día (horas, etc.), otras tantas verticales; y en las líneas de cada

(1) He expuesto esta misma cuestión, con el título de «Aparatos universales», en los «Anales de la Sociedad Española de Física y Química», mayo de 1925.

estación, se van señalando las horas de llegada y salida de los distintos trenes, y se unen por trazos, inclinados los puntos correspondientes a un mismo tren. La inclinación de estos trazos será tanto mayor, con respecto a la horizontal, cuanto más grande sea la velocidad del tren en el respectivo trayecto. Conviene que el alumno empiece por la gráfica de un solo tren (y aun en las primeras secciones convendrá no pasar de aquí) para que, una vez comprendido el principio, haga un cuadro completo, para determinado trayecto, con los trenes ascendentes y descendentes, donde se verán claramente los cruces en las estaciones, los cruces en marcha, si el trayecto es de doble vía, etc. En la Enseñanza Media se podrá hablar de velocidad media en los distintos trayectos, y medirla por la tangente del ángulo de inclinación.

### CARRERAS DE AUTOMOVILES

En nuestra época, más afición despierta todavía en los chicos el estudio gráfico de la marcha de los automóviles: todos ellos leen las revistas deportivas, y de éstas pueden sacar a menudo los resultados detallados de una carrera en circuito cerrado; préstanse estos datos a la representación gráfica de manera análoga a la de los trenes. Varias veces, aprovechando la oportunidad de haber asistido a alguna de estas carreras, he dado a mis discípulos la nota de la sucesión de los distintos corredores a cada vuelta, y ellos las han transformado en excelentes diagramas, aun antes de conocerse los resultados por los periódicos.

### MECANISMOS

La máquina de coser, una bomba de pistón, una muela de afilar, servirán para el estudio de las transmisiones (conversión del movimiento circular continuo en rectilíneo alternativo o viceversa): el mecanismo de biela y manivela, el paso por los puntos muertos, se estudiarán cómodamente con las máquinas citadas. El tornillo, como ya antes he dicho, podrá estudiarse sobre el sacacorchos, y construyendo hélices de cartulina (P.). Se hallará abundantemente el tornillo en numerosas prensas (de escritorio, de vino, de aceite, etc.), en las llaves inglesas, en los bancos y mesas de herreros y carpinteros, en los cierrajuntas.

Estúdiase muy cómodamente el tornillo, aplicándole una hoja de papel, y apretándola un poco con la mano; los pequeños tornillos, limpios, quedan marcados así, por presión y con un poco de relieve, en la hoja de papel. Los grandes tornillos, casi siempre untados de grasa, ennegrecida por el uso, producirán sobre el papel manchas, sobre las que será fácil medir el paso de rosca.

La ruedas de los cordeleros, las norias, primitivas y modernas, las grúas en las estaciones, los relojes de pared y de bolsillo, ofrecen multitud de mecanismos, cuya interpretación dará pie a interesantes lecciones. No entro en más detalles, porque éstos variarán con las circunstancias de las distintas escuelas; de ellas sabrá sacar el maestro excelente partido, con tal no olvide este "leif motiv": nada que se preste mejor a la enseñanza que los aparatos que le rodean puede ofrecerle ningún gabinete.

### LOS CORDONES DE LOS ZAPATOS

Pero no quiero dejar de hablar de... los cordones de los zapatos. La descomposición de fuerzas, la transformación de trabajos que ocurre en los polipastos, se verifica idénticamente en estas minúsculas máquinas funiculares, cuando tiramos de los cabos libres de sus "cuerdas".

## LA BICICLETA

Tampoco puedo pasar por alto la bicicleta: su transmisión, su desarrollo, sus ruedas y piñones, sus pedales, sus frenos, sus cojinetes de bolas, su equilibrio, su movimiento, darán pie a interesantísimos estudios. Desmontada, una rueda sostenida con la mano por su eje, hace patente, al girar, la conservación del plano de giro. (R.). Sus neumáticos, su bomba de compresión, su farolillo, serán utilísimos en el estudio de la mecánica de gases.

## CAPILARIDAD

Aun en las cuestiones de capilaridad, y dejando aparte los experimentos cualitativos con pinceles, tiralíneas, cordeles, etc. (R.), pueden realizarse mediciones notablemente precisas mediante dos retazos de vidrio plano (provenientes de la rotura de uno de ellos): limpiándolos bien, y superponiéndolos con interposición de un marco de alambre de espesor conocido, para mantenerlos separados a una distancia determinada, igual al espesor de aquel alambre, introduciéndolos después de canto en el agua, la ascensión capilar podrá medirse con el doble decímetro, y relacionarla con otras ascensiones obtenidas con interposición de marcos de distintos espesores. Después del agua, puede trabajarse con otros líquidos.

Sustituyendo el marco por un solo lado de alambre, de modo que las placas de vidrio, con un borde rectilíneo, estén en contacto por este borde, constituyendo las llamadas clásicamente placas angulares, el líquido, teñido a prevención, dibujará al ascender entre ellas una hipérbola equilátera, tanto más perfecta cuanto mayor sea la limpieza de las placas, curva que representará gráficamente la ley de las ascensiones capilares. Y para todo esto hay construcciones de catálogos, que sobrecargan los presupuestos y llenan de chismes los gabinetes.

## VASOS COMUNICANTES

El porrón catalán o aragonés, que se adquiere por poco dinero, es un aparato de vasos comunicantes tan bueno como los de los gabinetes, y desde luego menos presuntuoso. Puede aplicarse a un mismo líquido o a líquidos distintos, permitiendo hasta determinar densidades por medición de alturas (P.). Además, el mismo porrón lleno de vino hasta poco más de la mitad de las dos ramas, y sostenido con la mano derecha, estirando horizontalmente el brazo, de modo que el nivel del líquido venga a la altura de los ojos, constituye un útil instrumento de nivelación topográfica.

¿A quién se le ocurriría convertir unos vasos comunicantes en aparato con armaduras de latón dorado? Sería un desconocedor de la existencia del porrón, de la regadera, del botijo, de la manera de enlazar dos embudos mediante un tubo de caucho. Extraño ser ajeno a toda actividad, dominado por el prurito pedagógico de enseñar a los demás conociendo menos que ellos. Con olvidar al aparato y a su autor, habríamos concluido. Per, ¿qué diremos del sinnúmero de profesores que han provisto de tales instrumentos los gabinetes, y que aun piden consignaciones para adquirirlos?

## EN BUSCA DE APARATOS

Creo que nunca insistiré bastante dando al maestro este consejo: siempre que para sus clases eche de menos algún aparato "no corriente", piénselo bien antes de adquirirlo o solicitar su adquisición: rebusque en la cocina, en el jardín, en el corral,

en el desván, atienda a los instrumentos utilizados en sus oficios por los vecinos de la escuela: de diez veces, nueve hallará algo más ventajoso que el aparato deseado para dar la misma lección, y si no lo encuentra, de cien veces noventa y nueve será que se trata de una lección que más vale suprimirla.

### UN RECUERDO

Siempre han existido profesores beneméritos que han sabido sacar partido de los objetos más vulgares para la enseñanza de la Física. Uno recuerdo en este momento, inteligente y modesto, muy pobre, que preparaba alumnos para ser examinados con arreglo a programas vanidosos, llenos de nombres de aparatos especiales. De ninguno de tales refinamientos experimentales podía él disponer, y no se atrevía a confesar que sacaba partido para sus clases de los objetos más comunes; un día, sonrojándose, me lo confesó: para estudiar el sifón empleaban sus discípulos los trozos curvos de unos macarrones. Se avergonzaba de revelarlo por miedo al ridículo. Dedicemos hoy nosotros, en cambio, un tributo de profundo respeto a su recuerdo.

### DE LOS GASES

Y hoy día los profesores tenemos la suerte de hallar multiplicados a nuestro alrededor los objetos utilizables. Treinta años atrás, por ejemplo, las escuelas rurales no disponían comúnmente de más gas que del aire. En una jocosa comedia catalana, de aquella época, llegan a una casa de campo, en su coche, unos potentados barceloneses, y mientras ellos se hallan de visita en el interior del edificio, los campesinos, en el solar, rodean al cochero, para preguntarle asiduamente respecto a las cosas de ciudad; el cochero les encanta a fuerza de contestaciones despampanantes, y para mejor deslumbrarles, les habla del alumbrado por el gas. —¿Y qué es el gas?—le pregunta aquella buena gente. La contestación es notable por lo precisa:

“... El gas es un vent;  
no com el vent ordinari,  
que apaga'ls llums; al contrari:  
el gas es vent que s'encén.”

Es decir: “el gas es un viento; no como el viento ordinario, que apaga las luces; al contrario: el gas es viento que se enciende”. A los pocos años no podría llevarse semejante escena a las tablas; todos los campesinos conocían un gas combustible: el acetileno; y conocían su producción, distribución y consumo mejor todavía que el habitante de las ciudades.

### DIFUSION ACTUAL DE CONOCIMIENTOS

Lo mismo, y en mayor escala, sucede todavía con la electricidad: cuando yo estudiaba Física, en Barcelona, una lámpara eléctrica era un objeto de laboratorio; dedicábamos una lección al estudio de interruptores y conmutadores primitivos. En el Gabinete de Física de aquella Universidad debe de existir todavía un interruptor muy basto, montado al lado de una espita, para que por comparación se comprendiera el funcionamiento del primero. Todavía en muchas obras elementales se hallarán capítulos dedicados a tales aparatos, como si no estuvieran llenas de ellos las paredes de nuestras casas. Hoy, cualquier chico de quince años, sin instrucción especial, hace instalaciones de lámparas, modifica sus conexiones, sustituye interruptores por conmutadores.

## MULTIPLICIDAD DE ENSERES

Motociclos, automóviles, aeroplanos, han difundido el conocimiento de mecanismos; los progresos del alumbrado han vulgarizado la producción de gases y la distribución de la corriente eléctrica; y un sin fin de pequeños instrumentos, cada día más perfeccionados: sacacorchos, abrelatas, maquinillas de afeitar, encendedores, plumas-fuente, pilas secas, han llenado nuestras viviendas y nuestros bolsillos de interesantes objetos de estudio. Hoy, el niño que aprende la primera lección de Física, sabe ya mucha física. No hay que entretenerse, por ejemplo, en explicarle el funcionamiento de la bomba de comprensión, pues la conoce perfectamente por haberla usado para los neumáticos de bicicleta y para el balón de fútbol, y hasta os dirá que en la primera sobra la válvula, porque ya la lleva la cámara.

## MECANICA DE GASES

Ya que de mecánica de gases estamos hablando, no quiero dejar de citar los útiles que resultan en su estudio dos objetos abundantísimos: las botellas de agua carbónica, llamadas vulgarmente sifones, y las lámparas eléctricas viejas. Las primeras, puestas boca abajo, dan salida, al abrir la válvula, a una corriente de gas carbónico, y este gas se puede recoger en un vaso, en una caja, hasta en un sombrero de fieltro, para observar su densidad, mayor que la del aire, su incombustibilidad e incomburencia, la forma de transvasarlo como el agua (R, Q).

La lámpara eléctrica vieja, además de servir para el clásico experimento del surtidor en el vacío y constituir, una vez llena de agua, un barómetro casero (R), permite medir el peso del litro de aire atmosférico. Basta medir su volumen y su peso, romperla, y medir nuevamente volumen y peso de los fragmentos. La balanza usada debe ser capaz de apreciar, por lo menos, un decigramo (P).

## GLOBOS DE CAUCHO

Esos globos que en determinados días regalan en los bazares, o a veces se compran en las ferias, sirven perfectamente, atando al extremo del hilo un lastre formado por una hoja de papel, para estudiar la fuerza ascensional, las corrientes de aire y otras varias cuestiones interesantes. Se recortará la hoja de papel suspendida del globo hasta lograr que se halle en equilibrio, sin subir ni bajar, flotando en el aire, y entonces, las más leves corrientes lo arrastrarán. De paso llamará la atención de los chicos la exigüedad de fuerza ascensional.

## LA HOJA DE MAQUINA DE AFEITAR

Ahí tenéis otro objeto despreciable, del que todo maestro puede sacar gran partido: la hoja vieja de máquina de afeitar. Recibiendo en ella un chorro de agua, se pueden estudiar magníficas formaciones de láminas líquidas. Abandonándola sobre el agua de la jofaina, flotará por la tensión superficial (como la aguja de coser, como los insectos de largas patas, que pueblan las superficies del agua de ríos y canales en primavera). Si mientras está flotando se atiende a sus movimientos, se observa la existencia de una recta que tiende a orientarse en dirección norte-sur, pues la hoja se halla espontáneamente imanada. Esta imanación puede aumentarse por frotamiento.

con otro imán, y entonces, con un par de hojas, una flotante y otra en la mano, se hallarán las leyes de las atracciones y repulsiones magnéticas. Sometiéndola a la acción del calor, se destemplantará y podrá doblarse fácilmente; encandeciéndola y enfriándola luego con rapidez, el excesivo temple la habrá hecho frágil.

### UTILIZACION DE DESPERDICIOS

Estas otras cosas que se tiran: el cabo de vela, el aplastado tubo de estaño que había contenido una pasta para los dientes o unos colores de acuarela, se aprovecharán en ejercicios de fusión, calentándolos en un viejo dedal de hierro o en una tapa de caja de betún para el calzado.

En particular, el estaño fundido se podrá moldear luego vertiéndolo en un molde sencillamente formado por un cucurucho de papel hundido en arena. El cono metálico brillante que se ha obtenido, constituye durante todo el día el encanto de los niños.

### FUSION Y SOBREFUSION

Utilizando cualquier puchero de hierro esmaltado, de aluminio, o de tierra cocida, como baño María, se puede fundir en un frasco de vidrio hiposulfito sódico (la sal empleada como fijador en fotografía), y experimentar por enfriamiento el fenómeno de la sobrefusión (R, P).

### EL TUBO DE ENSAYO

En un tubo de ensayo lleno de agua, calentándolo ora por arriba, ora por el fondo, se estudiará la mala conductibilidad del agua y la formación de corrientes de convección (R). Es el tubo de ensayo el único aparato no vulgar cuya adquisición, como excepción, recomiendo al maestro. Pero es tan sencillo y tan barato y se presta a tantos experimentos, exigiendo siempre sólo pequeñas cantidades de sustancia, que merece entrar en el laboratorio escolar con todos los derechos.

### PROPAGACION DE LAS ONDAS

¿Conocéis los aparatos destinados al estudio de propagación de las ondas? Abundan en los catálogos y en los gabinetes. Todo convencionalismo tiene en ellos su asiento. Unos consisten en series de pendulillos; otros, en hiladas de bolas; otros, en espirales; otros, en tubos. Son muchos, y ninguno bueno. Pero nuestros alumnos saben jugar a la comba: poned la sogá en sus manos y dejad que salten. Conviene en la escuela estas expansiones. Ahora, haced que algunos alumnos se fijen en el movimiento de los diversos puntos de la sogá. Que noten la distinta amplitud del movimiento de los diferentes puntos, y cómo esta amplitud aumenta al acercarse al punto medio. Haced luego que uno de los que dan vueltas a la comba no haga más que sostenerla, encargándose el otro sólo de impulsarla. Y encargadle que cambie el ritmo, que acelere sus impulsos para que la cuerda quede dividida en dos porciones, con un punto nodal en medio. Hacedles notar la nueva distribución de amplitudes de movimientos, y en seguida la diferencia de fase entre las dos semiondas. Para percibirlo mejor dejad que algunos alumnos se decidan a saltar la cuerda así dividida; y todos observarán que los movimientos son opuestos: éste sube cuando el otro baja. Por el mismo procedimiento se puede dividir la cuerda en tres, cuatro, cinco vientres separados por los correspondientes nodos. Son unas magníficas ondas estacionarias.

Si deseáis que vuestros discípulos se hagan cargo de los movimientos particulares de las distintas moléculas en la propagación de las ondas según una recta, haced que

señalen en el patio una serie de puntos equidistantes en línea recta; que cada uno ocupe uno de estos puntos. Y que a un lado y a otro de este punto, en dirección transversal o en dirección longitudinal, realice este movimiento rítmico, siguiendo el ritmo marcado por la voz del maestro: éste habrá asignado a cada lugar un número, y el alumno que ocupa este lugar sabe que ha de empezar su movimiento cuando el maestro pronuncie su número. Además sabe que su movimiento será, p. ej., en el caso de ondas transversales, éste: paso largo a la derecha, paso corto a la derecha, paso corto a la izquierda, paso largo a la izquierda (posición inicial), paso largo a la izquierda, paso corto a la izquierda, paso corto a la derecha, paso largo a la derecha (posición inicial), paso largo a la derecha, paso corto a la derecha, etc. Pocos minutos de ensayo bastan para que se vea formar y avanzar una onda viviente, íntimamente conocida por los mismos alumnos que la constituyen. Aumentando el número de pasos (tres a la derecha, tres a la izquierda) se aumenta la longitud de onda; aumentando la longitud de los pasos, se aumenta la amplitud de onda. Para evitar equivocaciones de los alumnos, conviene que cada cual lleve escrito en una hoja de papel indicaciones respecto a su movimiento; así, en el caso de tres pasos a la derecha, y tres a la izquierda de separación del origen, el alumno número 1 tendrá esta pauta:

$$\begin{array}{cccccccc} & & & \Delta & - & 1 & - & 2 & - & 3 \\ 9 & - & 8 & - & 7 & - & 6 & - & 5 & - & 4 & / \\ 21 & - & 20 & - & 19 & - & 18 & - & 17 & - & 16 & / \\ & / & 22 & - & 23 & - & 24 & - & 25 & - & 26 & - & 27 \text{ etc.} \end{array}$$

Y el número 4 tendrá esta otra:

$$\begin{array}{cccccccc} & & & \Delta & - & 4 & - & 5 & - & 6 \\ 12 & - & 11 & - & 10 & - & 9 & - & 8 & - & 7 & / \\ & / & 13 & - & 14 & - & 15 & - & 16 & - & 17 & - & 18 \\ 24 & - & 23 & - & 22 & - & 21 & - & 20 & - & 19 & / \\ & / & 25 & - & 26 & - & 27 & - & 28 & - & 29 & - & 30, \text{ etc.} \end{array}$$

Así a cada voz del profesor, sabe cada alumno dónde debe colocarse, y en caso de error puede enmendarlo fácilmente.

Creedme: no hay aparato de ondas que despierte tanto interés en el alumno y que le enseñe tanto como el ejercicio que os he descrito (1).

## PROPAGACION DEL SONIDO Y DE LA LUZ

En descampado se pueden realizar excelentes ensayos de determinación de la velocidad del sonido. Un alumno se va alejando de los otros en línea recta, contando los pasos; a cierta distancia se detiene. Del grupo que no se movió sale una voz. Al oírlo, la repite el destacado. Este anota el número de pasos. Los del grupo aprecian los segundos transcurridos entre el momento en que han dado la voz y aquel en que han oído la respuesta. Con un ensayo previo o posterior determinan la longitud de los pasos: así pueden transformar el número de pasos en número de metros. Dividiendo el duplo de esta distancia (ida y vuelta) por el tiempo calculan la velocidad.

Comprueban el resultado, repitiendo el experimento a otra distancia.

De análoga manera pueden repetir el clásico experimento de Galileo, primera tentativa histórica de determinación de la velocidad de la luz: los dos observadores separados por la distancia de unos 200 metros, estaban provistos de sendas linternas; uno ocultaba su luz en una pantalla, y en el momento en que el otro percibía el

(1) Este ejercicio ha sido publicado en los «Anales de la Sociedad Española de Física y Química», diciembre de 1924.

eclipse, ocultaba a su vez la suya. El primero debía contar el tiempo transcurrido entre el momento en que ocultaba su luz y el momento en que veía que el otro experimentador ocultaba la suya. De este experimento deducía Galileo y sus discípulos que para las distancias corrientes la velocidad de la luz es prácticamente infinita. Hasta el año 1675 (Galileo había muerto en 1642) no tropezaba Roemer con un fenómeno cuya explicación exigía que la velocidad de la luz fuese finita.

### VELOCIDAD DE LA LUZ

Sobre esta base experimental, tan sencilla y tan firme, puede asentarse después el estudio de los métodos de Roemer, Fizeau, Foucault: en todos ellos descubrirá el estudiante un sentido que se echa de menos cuando se empieza por tales métodos el estudio de este asunto. Esto último es andarse por las ramas olvidando el tronco.

### LOS ECOS

En los alrededores de toda población pueden descubrirse interesantes ecos. Si se halla alguno debido a una sola pared, que permita alejarse normalmente de ella por el campo libre, se estudiará fácilmente el aumento del intervalo de tiempo con el de distancia.

La reflexión del sonido en superficies aproximadamente parabólicas se puede experimentar, sin espejos metálicos especiales: dos paraguas abiertos, mojados, con los palos horizontales dispuestos a distancia en la prolongación uno de otro, permitirán entablar una conversación en voz baja entre dos individuos que hablen y escuchen en los puntos de convergencia de las varillas, o sea aproximadamente en los focos de los dos paraboloides enfrentados (R).

### ESTUDIO FISICO DE LA MUSICA

El piano es el mejor aparato que se puede emplear para el estudio físico de la música. Su teclado mostrará la sucesión de los intervalos en la escala musical. En él podéis estudiar la formación de sonidos compuestos; la producción de pulsaciones. Sus numerosas cuerdas, levantados los apagadores mediante el correspondiente pedal, responderán vivamente a la nota cantada en la caja (con la tapa abierta) remedando con notable exactitud no sólo el tono, sino hasta el timbre de la voz del cantante. Y unas trompetillas de bazar, y un par de panderetas completarán perfectamente la sección de aparatos destinados al estudio de la acústica (R).

### REFLEXION DE LA LUZ

Ved a los niños jugando en la ventana con unos pedazos de espejo, dirigiendo de un lado a otro el haz de luz reflejada. Aprovechad el juego para hacerles fijar las condiciones en que se refleja la luz, las relaciones entre el giro del espejo y el del rayo reflejado. Y si queréis que midan los ángulos con mayor precisión, uno de aquellos trozos, colocado verticalmente sobre una hoja de papel (P), en la que se clavarán dos alfileres, y mirando al espejo otros dos que vengán en línea recta con las imágenes de los dos primeros, será cuanto necesiten para descubrir las leyes de la reflexión. Todo otro instrumental es superfluo.

### REFRACCION DE LA LUZ

Lo mismo puede decirse de la refracción. La sombra proyectada por los bordes de una palangana en el interior de la misma cambia de lugar al llenarla de agua. Un dibujo a escala de la palangana y del traslado de la sombra permite el cálculo

del índice de refracción del líquido. Un pisapapeles cúbico, o un tintero paralelepípedo, o cualquier objeto macizo de vidrio que tenga un par de paredes planas y verticales, colocado sobre una hoja de papel en la que se clavan cuatro alfileres, dos delante y dos detrás del objeto transparente, de suerte que mirando dos de ellas a su través, se vean las cuatro en línea recta (P) sirven para calcular con notable precisión el índice de refracción del cristal.

### ESPEJOS Y LENTES

Si no lo posee el maestro ¿no habrá algún alumno que le traiga, cuando él quiera, un "vidrio de aumento"? Con esta lente convergente pueden observar las imágenes virtuales, derechas y aumentadas, acercando la lente mucho al ojo, y graduando la distancia del objeto, que puede ser cualquier impreso. Con la misma lente, proyectarán en una hoja de papel blanco la imagen real, invertida, y disminuida de la ventana y del paisaje. Y en la clase oscura con las ventanas cerradas, proyectará en la pared la imagen real, invertida y ampliada de la llama de una bujía o del filamento de una lámpara eléctrica. Alumnos aventajados, estudiarán gráficamente (aunque sólo cualitativamente) la formación de estas imágenes. Los de Enseñanza Media la estudiarán cuantitativamente (P).

Pero quizás el maestro es presbita. Los propios lentes, en tal caso, se podrán utilizar para toda esta experimentación.

Quizás es miope: sus lentes, además de servir como ejemplo de lente divergente y permitir observar a los alumnos la imagen siempre virtual, derecha y empujéñida, servirán también de espejo cóncavo, y se podrán obtener por reflexión imágenes reales e invertidas ora mayores, ora menores que el objeto. Procediendo, en Enseñanza Media, cuantitativamente, las imágenes especulares darán suficientes valores para calcular la curvatura de las caras de la lente, y enlazando este valor con los valores obtenidos por la formación de las imágenes debidas a la refracción, se llegará al cálculo del índice de refracción del cristal de los lentes.

Es raro, por otra parte, que el maestro, o el padre de algún alumno no emplee para afeitarse, algún espejo cóncavo, que permita observar la producción de imágenes con más comodidad que con los lentes cóncavos.

### ESPECTROS LUMINOSOS

Los pequeños prismas de vidrio que servían de adornos de las lámparas sirven, enteros o rotos, para producir magníficas descomposiciones de la luz blanca. Mirando a través de uno de ellos a algo más de un metro de distancia, una aguja brillante puesta al sol sobre fondo negro, se llegan a distinguir rayas de Fraunhofer a través del espectro solar.

¿Y la recomposición de colores con el disco de Newton? ¿Qué mejor aparato que el maravilloso juguete infantil, ¡tan vulgar y tan elegante!, llamado trompo? Se le aplica una adivinanza muy propia:

"Para bailar me pongo la capa  
Para bailar me la he de quitar  
Sin la capa no bailaré  
Con la capa no puedo bailar."

Existe en los bolsillos de nuestros alumnos: forma parte de todo tesoro infantil, de toda juguetería. Pues bien: encargadles que lo pinten con husos de diversos colores: señaladles la proporción: rojos, 5; amarillos, 5; verdes, 4; azules, 5; indigos, 3; violetas, 5. Y una vez seco, al hacerlo bailar, aparecerá la recomposición deseada.

## INTERFERENCIAS Y POLARIZACION

Hasta para estudiar los delicados fenómenos de interferencias y de polarización tenéis elementos en las más pobres escuelas. En todas podéis soplar pompas de jabón, este otro juego de niños, y de hombres, y estudiar la distribución de los colores en las espléndidas curvas de nivel de la superficie de la pompa. Y reconocer después las mismas coloraciones en los cristales viejos de las ventanas, en ciertos minerales foliáceos, en las manchas de aceite sobre el agua (R).

Aquella claraboya, aquella vidriera que refleja la luz del sol poniente, os envía un intenso chorro de luz polarizada, y la podéis analizar, por ejemplo, en una pila de retazos de vidrio plano.

Y aún deo de hablar de los numerosos experimentos de óptica a que se prestan los vidrios de color, las botellas llenas de agua, los gemelos de teatro y los anteojos más o menos averiados, las linternas mágicas y aun los cinematógrafos, que ya se tienen entre niños de clase pudiente como juguetes.

## FOTOMETRIA

Atendamos todavía a este aparato de óptica sencillísimo:

Una cuartilla manchada de grasa o cera constituye el excelente fotómetro de Bunsen. Interponiéndolo y corriéndolo entre dos lámparas encendidas, hasta dejarlo en el punto en que la mancha deja de ser visible, se medirán las distancias de este punto a las lámparas, y se procederá, si se quiere, al cálculo de las intensidades luminicas relativas (P).

## ATRACCIONES Y REPULSIONES ELECTRICAS

Interesantísimos experimentos de electricidad extática pueden hacerse en invierno, al amor de la lumbre; también con una simple cuartilla de papel desecándola al fuego y frotándola rápidamente con el dorso de la mano: atracciones de pedacitos de papel colocados sobre la mesa; cabellos que se ponen de punta; adherencia del papel electrizado a los muebles, a las paredes, a los vestidos; chispa eléctrica; desviación de los chorros líquidos; acción sobre las pompas de jabón; condensación de la electricidad; ensayo de aisladores, y otras muchas operaciones pueden realizarse sin más manantial eléctrico que la hoja de papel ligeramente frotada (I).

## ELOGIO DEL RETAZO DE PAPEL

Numerosos objetos despreciables os he presentado en este trabajo como utilísimos en la enseñanza de la Física; pero entre todos, el primero, a mi modo de ver, el más conforme con mis ideas, el que mejor engloba mi pensamiento, es una modestísima hoja de papel, que en blanco o manuscrita, sacada de un fino estuche o rasgada de un periódico, os da cuanta electrización le pedís, una y cien veces. No tiene el más leve aire instrumental; no remeda toscamente clase alguna de máquinas, y es, al mismo tiempo, entre todo aparato, el más humilde y el más útil.

A tanto llega su utilidad que aun la presta en el uso de aparatos eléctricos de gabinete, de laboratorio y de clínica. Conocéis las máquinas eléctricas de Holtz y de

(1) En julio de 1925 he publicado en los «Anales de la Sociedad Española de Física y Química», con el título de «Experimentos sencillos con el papel electrizado», otra numerosa serie de ejercicios de electricidad, con la hoja de papel desecada y frotada.

Bonetti (o sea la de Wimshurts sin sectores metálicos), cuyo funcionamiento exige que sean previamente excitadas o cebadas. Para la de Holtz se introduce entre los discos una paleta especial de ebonita electrizada por frotamiento; para la de Bonetti, un leve roce de uno de los discos con los dedos secos, y aún mejor embadurnados con oro musivo. Pues bien; con la de Holtz, la hoja de papel electrizado presta el mismo servicio que la paleta de ebonita. ¿Qué digo el mismo? Infinitamente más bueno y más seguro. Y la máquina de Bonetti, cuando no se ceba por el roce de los dedos, se ceba indefectiblemente aplicando al disco la hoja de papel electrizado.

Recordemos, además, el uso de la cuartilla en óptica como fotómetro; recordemos que es posible, doblando una hoja de papel, estudiar toda la geometría, sin regla y compás, y recordemos, por fin, las bellísimas construcciones con papel doblado (R), encanto de niños y de grandes, y acabaremos de comprender este elogio.

### UNA CELEBRE MAQUINA JAPONESA

Guárdase muy merecidamente en el Musco Pedagógico de Madrid una célebre máquina japonesa construida por los alumnos de la Escuela Normal de Tokio con dos botellas y unos listones. Es una máquina de rozamiento, con su vidrio, manubrio, cojinetes, peines y conductores. Ella muestra cuánto se puede hacer con objetos destinados al trapero. Todos podemos recibir enseñanzas de su vista y de su recuerdo. Pero al lado de la hoja de papel, la máquina japonesa desmerece; y entonces uno se da cuenta de que por útil y recomendable que sea, la perjudica cierto aire de remedo o caricatura de otras máquinas.

### EL ELECTROSCOPIO

No cabe decir lo mismo de ese otro aparato, el electroscopio de panes de oro, que conserva, aun construido por el alumno, toda su forma histórica (R, P), sólo sustituyendo los panes de oro por unas tiras de papel de estaño o de aluminio usado como envoltura de bombones de chocolate. El frasco, de cuello ancho, ha sido envase de aceitunas. El tapón aislador es una mariposa de parafina de la que se ha quitado el pábilo, atravesándola, en cambio, con un clavo, de cuya parte inferior se han suspendido un par de tiras del papel metálico. El aparato es suficientemente sensible para mostrar la electrización que adquiere si se le pasa el plumero para quitarle el polvo. Con él se pueden efectuar los experimentos de electrización por influencia; atracciones y repulsiones eléctricas, etc. Para construirlo los alumnos no tienen que adquirir más que la mariposa destinada a tapón, lo cual supone un pequeño gasto. Los antiguos aparatos dorados, existentes en casi todos los gabinetes, distan muchísimo de tener la sensibilidad de estos otros aparatos que pueden construirse con tan modestos estipendios y sin requerir habilidad manual alguna.

### PRECEDENTES ALENTADORES

No es cosa nueva la simplificación de la experimentación. Al contrario, tiene más firmes y valiosos precedentes que el uso de aparatos caros y lujosos. Citaré de paso, en este lugar, el precedente de Symmer. Todos habéis oído hablar de este genial creador de la teoría de las dos electricidades. ¿Y sabéis cuáles eran los aparatos que empleó en sus experimentos fundamentales? Sus propias medias.

### ACLARACION

Podría excusarme quizás de establecer la siguiente evidente distinción; pero más vale pecar de prolijo que de oscuro. Al ponderar reiteradamente la sencillez y simplificación, me refiero a los aparatos destinados a la enseñanza elemental, no a la ense-

ñanza superior, ni a los instrumentos usados como herramientas. En éstos, no cabe escatimar: el histólogo necesita excelentes microscopios; el astrónomo, colosales anteojos; el fotógrafo, perfeccionadas cámaras. Pero en la escuela bastan y son preferibles los aparatos más modestos y más sencillos.

## MAGNETISMO

Antes he señalado ya cómo se podían emplear las hojas de máquina de afeitar en el estudio del magnetismo. Pero cualquier aguja de coser, frotada con un imán, toma también, dejándola flotar en la superficie del agua, la dirección de la meridiana magnética. Y aproximándole los polos de otra aguja igualmente imanada, pueden estudiarse muy bien las atracciones y repulsiones entre los imanes.

## PILAS Y TIMBRES

Las pilas de sal amoniaco del timbre eléctrico, o del domicilio de cualquier alumno, que el día conveniente las prestará a la escuela, servirán también para imanar la llave, el cuchillo, etc., rodeando estos objetos de hierro o de acero con unas vueltas de alambre aislado, cuyos extremos se pondrán en comunicación con los polos de la pila.

Con estos mismos elementos y la aguja imanada flotante se podrá estudiar la desviación magnética producida por la corriente.

Con el timbre eléctrico y las pilas se experimentarán notables efectos de inducción.

## INSTALACION DE ALUMBRADO ELECTRICO

Sobre la misma instalación de alumbrado de la escuela, disponiendo de un enchufe, de media docena de portalámparas y lámparas sueltas, y de algunos retazos de alambre conductor aislado, se podrán hacer experimentos respecto a la distribución de tensión en las lámparas enlazadas en serie y en derivación, atendiendo además en cada caso a las indicaciones del contador para comprobar los respectivos gastos (P).

Deploramos, sin embargo, una vez más que en la mayor parte de ciudades y pueblos de España la corriente eléctrica del alumbrado doméstico no sea continua, sino alterna. ¿Deploramos he dicho? Bien; sea así, atendiendo al mayor riesgo con que nos amenaza la corriente alterna; pero desde el punto de vista de la enseñanza, regocijémonos.

Verdad es que ahora no bastará aproximar a la brújula el alambre que alimenta una lámpara, para repetir el experimento de Oersted y estudiar la regla de Ampère, ni será posible conseguir directamente efectos electrolíticos. Pero esto se realiza perfectamente con cualquier pila, y en cambio, la corriente alterna nos descubrirá todo un nuevo mundo eléctrico. En la escuela primaria se observará la oscilación rápida de la luz de las lámparas, especialmente notable en las de arco, y aún mejor en las lámparas y tubos fluorescentes, moviendo junto a ellos un objeto blanco o bruñido; la aplicación a pequeños transformadores, que rebajan la tensión de 120 voltios a 4 ó 6 voltios para poder aplicarla a timbres eléctricos comunes; la rectificación de la corriente, con válvulas muy fácil de preparar (vaso electrolítico con solución de bicarbonato sódico y un electrodo de aluminio).

Y entonces, la corriente rectificada, resulta aplicable al experimento de Oersted y a la electrólisis. Otros interesantes estudios sobre las corrientes alternas corresponden a grados superiores de enseñanza.

## AMPERIMETRO ELECTROMAGNETICO

Suspendiendo del platillo del pesacartas una barrita de hierro, que penetre en el orificio de un carrete, situado en la mesa, rodeado de varias vueltas de alambre, cuando por este alambre pase una corriente, continua o alterna, la barra de hierro se hundirá más en el carrete, y la indicación del pesacartas aumentará. Así, cabría graduar el pesacartas en ampères. Como carrete se puede emplear ventajosamente el de un timbre eléctrico estropeado.

## POR LA CALLE

Aun sin entrar en la subcentral eléctrica, cuya puerta advierte constantemente el "Peligro de muerte", el maestro hará que sus discípulos atiendan a cuantos alambres de alta tensión penetran en ella, a cuantos salen a baja tensión; observando por la calle la disposición de las acometidas, descubrirán casi siempre un alambre privilegiado, el neutro, en el que concurren todas. Advertirán pronto que cuando la acometida debe alimentar motores, es triple, pero no afecta al neutro, sino sólo a las tres fases. Con alumnos de las clases superiores se podrá ensayar la obtención del esquema de la distribución eléctrica por el pueblo.

En algunas poblaciones, el transformador, con sus disyuntores, pararrayos, cortacircuitos, se halla al aire libre, constituyendo un magnífico grupo de objetos de estudio.

## EN EL HUERTO

Utilísimo resulta en la enseñanza elemental la comparación de la corriente eléctrica con las corrientes de agua: en las regueras del huerto del maestro o del vecino podrán establecer los niños derivaciones para observar la desviación de la corriente, y aun establecer puentes transversales, como el de Wheatstone, entre dos regueras paralelas.

## OTROS APARATOS ELECTRICOS

Y no quiero hablar de la posibilidad de disponer de algún teléfono, de un par de acumuladores, de una pila de holsillo, de una magneto de motocicleta, de un ventilador con su motorcito eléctrico, pues ya se comprenderá que entonces habrán aumentado cuantiosamente las posibilidades experimentales.

## METEOROLOGIA

Si se puede instalar un termómetro en el jardín, una veleta en el tejado, un barómetro por modesto que sea en la clase, un pluviómetro en el huerto, el cuidado diario de estos sencillos instrumentos adiestrará a los alumnos en su uso y les dará series de datos que luego tendrán que representar gráficamente. El estado más o menos nuboso del cielo a las distintas horas de un día lo expresarán también en números, para formar después el correspondiente diagrama: eje vertical, nebulosidad en décimas de cielo; eje horizontal, horas del día.

Asimismo podrán obtenerse gráficas de la temperatura, de la humedad, de la presión; si estas últimas no pueden leerse en la escuela, se tomarán los datos de la Prensa diaria, llegada de la capital del Estado o de la provincia.

Disponiendo de veleta, se anotará dos o tres veces diarias la dirección del viento, y se construirán mensualmente las rosas del viento, de la mañana y de la tarde. Si no hay veleta, se atenderá a la dirección del humo de un fuego de papeles o de paja o de virutas, encendido en la azotea o en el jardín.

## CONCLUSION

Y me parece que ya basta. En el cuadro de estas notas no he podido hacer más que entresacar ejemplos de los distintos capítulos de la Física, y de ninguna manera presentarlos en grupo completo y sin lagunas. Pero creo haberlos dado en suficiente número para mostrar el camino que seguir, y aun para basar en ellos un modesto curso de ciencias físicas.

Y sobre todo, creo haber mostrado palpablemente que nunca la falta de experimentación puede excusarse en la pobreza de los medios. Al contrario, la pobreza es acicate. El profesor que dispone de toda una feria de aparatos de física no ha de preocuparse, no ha de ingeniarse, no ha de idear. Nada en la abundancia, y a su deseo acude en tropel, brillante y espléndida, la aristocracia de los aparatos: cada uno de ellos obedecerá al botón o al manubrio que pondrá en juego su caja de música o sus cochecitos de tío vivo. Y nada más. En la pobreza, en cambio, habrá que proceder de otra manera.

Eviquemos el recuerdo de los laboratorios de Claudio Bernard. Nada mejor puedo hallar como epílogo que las palabras con que Eugenio d'Ors comentó ese caso tan notable (1).

"Esta es la historia de los dos laboratorios sucesivos de Claudio Bernard. El primero era una vil cocinilla; apenas recibía luz; se helaban los concurrentes allí dentro; a veces, el hedor de los perros muertos hacía el aire irrespirable; los instrumentos eran fábrica personal, casi todos, del sabio mismo. Durante veinticinco años Claudio Bernard no dispuso de otra cosa que de miseria tal. Y ésta fue, cabalmente, la época de los maravillosos trabajos. Veinticinco años de trabajos, veinticinco años de descubrimientos. Un vivo hogar de espíritu se había encendido en la cocina vil... Aconteció, por fin, que las gentes se avergonzaban de tal estado de cosas. En Alemania se habían montado mientras tanto para los estudios de fisiología magníficas instalaciones. Francia no sería menos. Claudio Bernard tendría a su disposición, por fin, un espejo de laboratorios. Así fue realizado. En el Colegio de Francia se hicieron bien las cosas. Local vasto y apto, excelente instrumental, abundantes medios; todo fue de buen grado concedido al hombre glorioso que tanto había dado a la Ciencia, de quien tanto se esperaba aún. Pero, ¡oh sorpresa! Cambiar de casa, ocupar el lugar modelo y volverse lenta, y cesar por fin aquella serie, fue cosa de poco tiempo. La labor que en el oscuro rincón se había llevado a cabo no continuaba en las bellas instalaciones nuevas: lo que los enseres improvisados producían, ya no lo produjo el perfecto instrumental. Había allí excesiva comodidad, acaso. Faltaba aquella espina de dificultad, de dolor, de que son hijas las grandes cosas. El vivo hogar de espíritu se fue apagando poco a poco.

Esta es, digo, la historia de los dos laboratorios de Claudio Bernard."

Y si ahora atendemos a que no es el relatado un caso de excepción, sino que se ha repetido en todas las épocas, en todos los países y en todas las ciencias, comprenderéis que acabe diciendo que la pobreza de la escuela ni debe avergonzar ni se ha de temer.

(1) «Flos sophorum», por Xenius. Versión de Pedro Llerena. Barcelona.