

Revista de  
BACHILLERATO

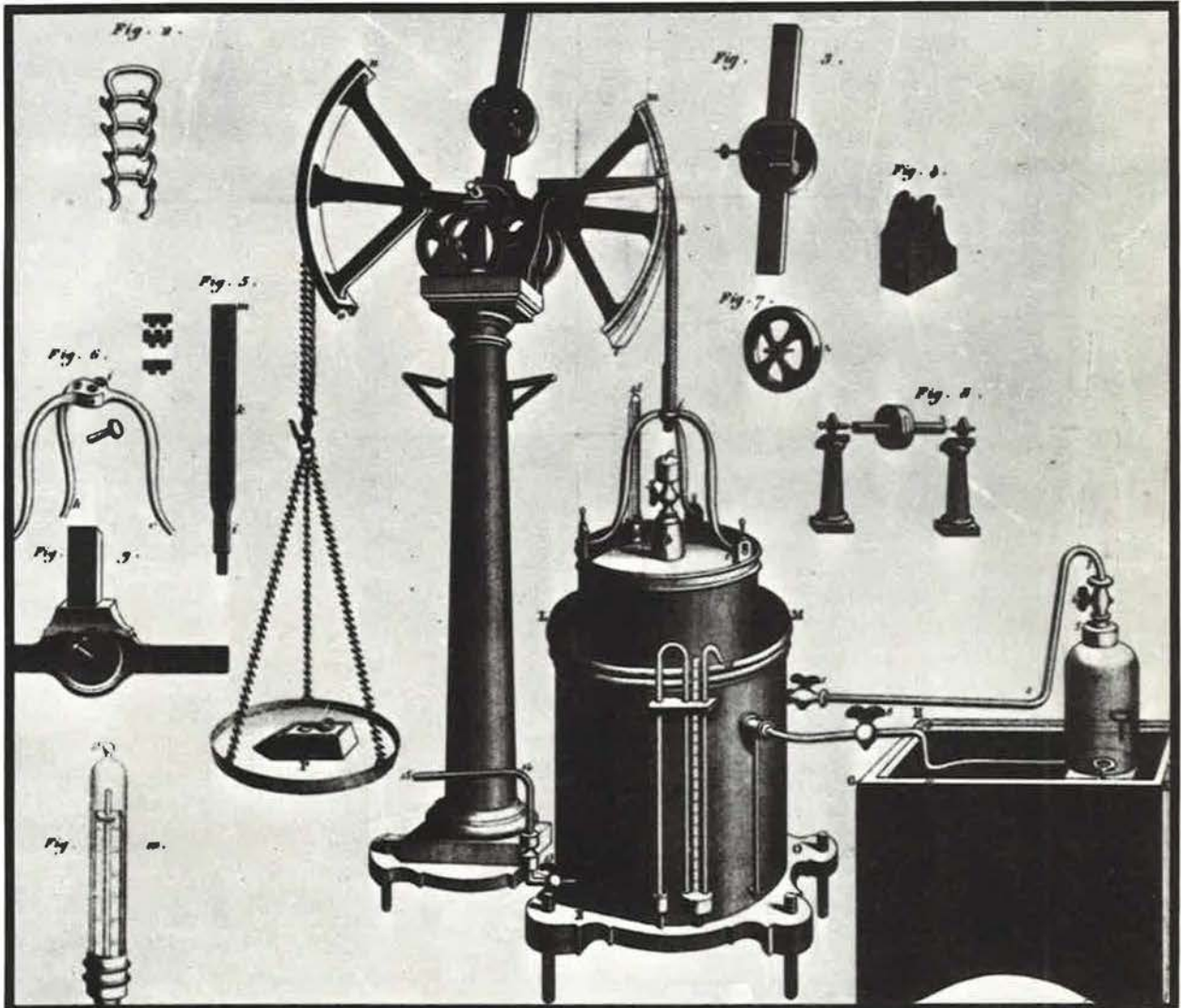


# cuaderno 7

# monográfico

# FÍSICA Y QUÍMICA

Suplemento del núm. 17 de R/B. - Enero-Marzo 1981



- EXPERIMENTOS
- DIDACTICA
- PROGRAMACION E INTERDISCIPLINARIEDAD

# PRODUCCIONES SOBRE FISICA Y QUIMICA DEL SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE EDUCACION

## EDICIONES:

- «Estructura y Didáctica de las Ciencias», Elías Fernández Uría. 400 ptas.  
(Número 5 de la colección «Breviarios de Educación».)
- «Enseñanza de la Física en la Universidad», Tomás Escudero Escorza. 300 ptas.  
(Número 2 de la colección «Estudios de Educación».)
- «Didáctica de la Física en la Universidad».  
(Serie «Formación del Profesorado». 100 ptas.)



## DIAPOSITIVAS:

- Física:  
Magnitudes, fuerza, movimiento, gravitación, péndulo.  
BUP. 99 diapositivas. 1.500 ptas.
- Física:  
El motor eléctrico, el motor térmico de cilindros.  
BUP y FP. 153 diapositivas. 2.300 ptas.
- Química:  
La materia, propiedades. Átomos y partículas, propiedades atómicas, radioactividad. Enlace.  
BUP y EGB 2. 108 diapositivas. 1.650 ptas.

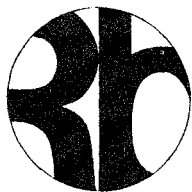


## PELICULAS (16 mm):

1. «El agua» (metros: 100; minutos: 9; precio: 6.050 ptas.).
2. «El carbono» (metros: 90; minutos: 8; precio: 5.500 ptas.).
3. «Compuestos químicos» (metros: 100; minutos: 9; precio: 6.050 ptas.).
4. «Constitución de la materia» (metros: 90; minutos: 8; precio: 5.500 ptas.).
5. «Halógenos» (metros: 110; minutos: 10; precio: 6.600 ptas.).
6. «El hidrógeno» (metros: 80; minutos: 7; precio: 4.950 ptas.).
7. «Metales alcalinos» (metros: 100; minutos: 9; precio: 6.050 ptas.).
8. «El oxígeno» (metros: 110; minutos: 10; precio: 6.600 ptas.).

### Venta en:

- Planta baja del Ministerio de Educación. Alcalá, 34. Madrid-14.
- Paseo del Prado, 28. Madrid-14.
- Edificio del Servicio de Publicaciones. Ciudad Universitaria, s/n; teléfono 449 77 00. Madrid-3.



# SUMARIO

## REVISTA DE BACHILLERATO

Dirección General  
de Enseñanzas Medias

CUADERNO MONOGRAFICO, 7  
Suplemento del n.º 17 de R/B.  
Año V. Enero-marzo 1981.

## CONSEJO DE DIRECCION

### Presidente:

Raúl A. Vázquez Gómez

### Vocales:

José Antonio Alvarez Osés  
Emilio Barnechea Salo  
Julio Calonge Ruiz  
Encarnación García Fernández  
Teófilo González Vila  
José Luis Hernández Pérez  
Ignacio Lázaro Ochaita  
Carmen Ramos Sarasa  
Matilde Sagaró Faci

### DIRECTORA:

María Dolores de Prada Vicente

### CONSEJO DE REDACCION:

Concepción Alhambra Altozano  
Antonio Castro Viejo  
Carmen Gamoneda y Vélez de  
Mendizábal  
María A. de Olives Mercadal  
Amparo Llácer Navarro

### SECRETARIO DE REDACCION:

José M.ª Benavente Barreda

### REDACCION:

P.º del Prado, 28, planta 7.ª  
Madrid-14

### EDITA:

Servicio de Publicaciones del  
Ministerio de Educación  
Ciudad Universitaria  
Madrid-3

### IMPRIME:

Temí, S. A.  
P.º de los Olivos, 89, Madrid  
D. L.: M. 22.906-1977  
I. S. B. N.: 84-369-02 1-4

Págs.

PRESENTACION..... 2

## EXPERIMENTOS

- Demostración experimental de la ley de Coulomb en el retroproyector, por José María Vaquero Guerri..... 3
- El oscilador salino, por Jesús M. Merino de la Fuente y Ana María de Diego Beade..... 6
- Eficaz generador de Van de Graaff, por José M. Pereira Cordido..... 10
- Experiencias pedagógicas sobre intercambio iónico, por Marceliano Rafael Pardo Casas y M.ª Carmen Pardo Lomas..... 12
- Ideas sobre un primer contacto con la Química, por Fructuoso Polo Conde y Alvaro Díaz Torres..... 15
- La fotografía a través del microscopio, por Cristóbal Lara López y José Manuel Selas Pérez..... 17
- La energía solar: Aproximación a las aulas, por Antonio Mesquida Seguí, Francisco Magaña Carmona y Fco. Javier Lafalla Menac..... 20
- Estudio crítico de algunas prácticas de Química aparecidas en la Bibliografía, por Juan B. Soler Llopis y Agustín Candel Rosell..... 25

## DIDACTICA

- Consideraciones didácticas sobre la Dinámica:
  - I. Principios de la Dinámica..... 27
  - II. Fuerzas y fuerzas de inercia, por Christian Wagner..... 33
- Algunas precisiones sobre el lenguaje de los textos de Física y Química, por Arturo Carcavilla Castro y Lucía Puey Bernués..... 41
- Introducción analógica al estudio del movimiento armónico simple, por Enrique Porto Arceo..... 46
- Trabajo en el laboratorio: «Proyecto de trabajo» y «Problemas prácticos», por M.ª Teresa Martín Sánchez..... 51
- Por unos trabajos prácticos realmente significativos, por Daniel Gil Pérez..... 54

## PROGRAMACION E INTERDISCIPLINARIEDAD

- Fundamentos de una programación en Física y Química, por José Fernández González y Dominga Trujillo Jacinto del Castillo..... 57
- Aplicación de los diagramas de Gantt a la programación del B. U. P. y C. O. U., por María Teresa Lauzurica Valdemoros..... 60
- Esquemas para una planificación general en el Seminario de Física y Química, por Antonio Ruiz Sapetti..... 66
- Una experiencia interdisciplinar: La Física en la Grecia clásica, por Fernando Alonso Villar..... 70

## VARIOS

- Definición, hipótesis y experimentación en la ley de Coulomb, por Antonio López López..... 74
- Aproximación a la teoría de los quarks, por Manuel Ramón Fernández Pérez..... 78
- Una fuente de energía inagotable y no contaminante: El Sol, por Andrés Arribi López y Fernando Hernández Guarch..... 86
- Conceptos básicos sobre topologías moleculares, por M.ª del Carmen Aranda Palacios..... 90
- Reflexiones sobre textos científicos, por Jesús Amado Moya..... 93

*Este cuaderno monográfico ha sido coordinado por José Luis Hernández.*

*Todas las ideas y opiniones que puedan aparecer en las colaboraciones son de exclusiva responsabilidad de los autores, cuyos textos se respetan íntegramente.*

## PORTADA

Aparatos ideados por Lavoisier para sus experimentos que figuran en su «Tratado de Química».

# PRESENTACION

En esta presentación del número monográfico de Física y Química deseamos exponer a los lectores cuáles han sido los criterios empleados para estructurarlo.

Desde el primer momento, el objetivo a lograr con su publicación estaba perfectamente claro: un cuaderno con el suficiente interés para que sea apreciado y consultado por los Profesores de Física y Química.

Nuestra primera tarea fue pedir a los Docentes aquellas unidades temáticas, objeto de sus preferencias, que habrían de conformar la estructura general del número; ésta fue la razón de que apareciese una breve encuesta en el número trece de la REVISTA DE BACHILLERATO. El análisis de la misma proporcionó las bases necesarias para nuestro trabajo de coordinación. Una mayoría se pronunció porque existiese una variedad temática y, entre esta variedad, las preferencias se decantaron de la siguiente manera:

|   |      |
|---|------|
| Experimentos.....                       | 35 % |
| Didáctica .....                         | 20 % |
| Programación-Interdisciplinariedad..... | 11 % |
| Bibliografía .....                      | 4 %  |

el resto del porcentaje se diluye entre un gran número de opciones.

Hemos tratado de ser fieles a estos resultados, y en consecuencia, los tres primeros apartados del sumario tratan de satisfacer las unidades temáticas pedidas; en el último se recogen aquellos artículos que configuran el número monográfico en su aspecto de variedad. Si no aparece el apartado Bibliografía ha sido por no disponer de ningún trabajo sobre esta unidad.

Si la temática y la estructura quedaron fijadas por los Profesores, la selección de los artículos ha sido la tarea del coordinador, la cual ha estado presidida fundamentalmente por el criterio de lograr que el conjunto de las colaboraciones apuntase a un objetivo de utilidad inmediata para el Profesor.

Muchos artículos, de indudable calidad e interés, no han tenido cabida en este cuaderno debido a ese criterio selectivo y a que su número supera con creces la capacidad material de las páginas de la revista. Por lo cual, dejamos constancia de la necesidad de otro monográfico, en nuestra opinión urgente, que, aparte de acoger los artículos que han quedado fuera, sirviese de complemento al presente y de acicate para una mejora de nuestra tarea docente.

# EXPERIMENTOS

## Demostración experimental de la Ley de Coulomb con el retroproyector

Por José M.<sup>a</sup> VAQUERO GUERRI (\*)

El retroproyector de transparencias permite demostrar experimentalmente la Ley de Coulomb, de una manera rápida y precisa, a un conjunto numeroso de alumnos, de modo que todos ellos participen en la recogida de datos y en la interpretación de resultados.

El montaje del experimento se muestra en la figura 1. Se utilizan dos bolitas de poliestireno recubiertas con papel de aluminio para hacerlas conductoras. Con una de ellas se construye un péndulo bifilar. Para ello se atraviesa la bolita con un hilo de nylon y se la suspende de una varilla horizontal. Se debe procurar que el hilo sea muy largo y que sus dos extremos estén muy separados entre sí.

La otra bolita se mantiene aislada sujetándola con un hilo de nylon de los extremos de una pajita de refrescos doblada por la mitad. Esta pajita se clava con un alfiler a otra más corta, que actúa de soporte y que se apoya sobre una base de plastilina (figura 2).

Dispuestas las bolitas de este modo su aislamiento eléctrico es muy bueno, la distribución esférica de carga no es perturbada por los soportes y la carga que adquieren se conserva durante bastante tiempo.

Sobre el retroproyector se coloca una regla o escala graduada transparente. En el experimento que se describe se utilizó una transparencia realizada fotocopiando una hoja de papel milimetrado sobre una lámina de acetato.

En el equilibrio, la bolita del péndulo debe estar situada sobre el cero de la escala (comprobable sobre la pantalla) y a una altura de unos 4 cm sobre la transparencia. La segunda bolita debe estar a la misma altura que la anterior.

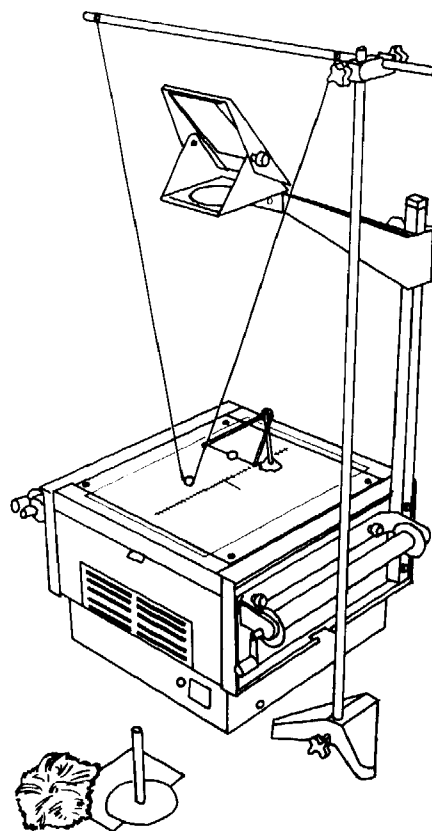


Figura 1.—Montaje experimental para la demostración de la Ley de Coulomb.

(\*) Catedrático de Física y Química del Instituto de Bachillerato «Felipe II» de Madrid.

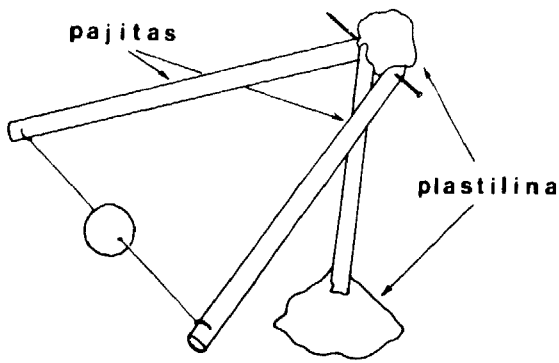


Figura 2.—Montaje de la segunda bolita.

Ambas bolitas se cargan por separado con un mismo cuerpo electrizado. Por ejemplo, con el disco del electróforo. A continuación se acerca la segunda bolita a la primera lentamente. Esta es repelida y, como consecuencia, el péndulo se separa de su posición de equilibrio.

Los alumnos tienen entonces la ocasión de observar, proyectadas sobre la pantalla, las sombras de ambas bolitas y medir el desplazamiento de la primera (figura 3).

Para ángulos pequeños, el desplazamiento  $D$  es proporcional a la fuerza de repulsión que actúa sobre la bolita. Dicho con otras palabras: La medida de  $D$  equivale a la medida de  $F$ .

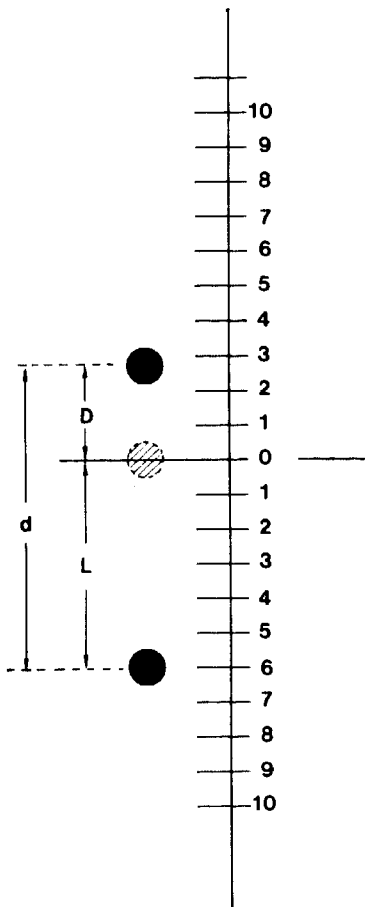


Figura 3.—Proyección sobre la pantalla de la transparencia milimetrada y de las sombras de las dos bolitas.

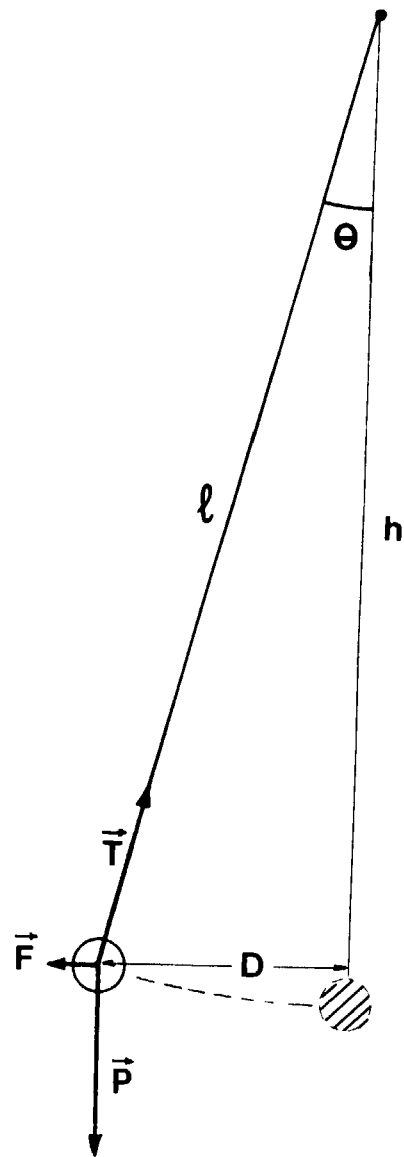


Figura 4.—El desplazamiento de la bolita es directamente proporcional a la fuerza horizontal que actúa sobre ella.

En efecto, las fuerzas que actúan sobre la bolita son la fuerza de repulsión  $\vec{F}$ , el peso  $\vec{P}$  y la tensión del hilo  $\vec{T}$  (figura 4).

Tomando momentos con respecto al eje de rotación se cumple (si el ángulo  $\theta$  es pequeño se puede suponer  $h \approx l$ ):

$$F \cdot l = P \cdot D$$

o bien

$$F = \frac{P}{l} \cdot D = K \cdot D$$

Así pues, el desplazamiento de la bolita del péndulo es proporcional a la fuerza de repulsión que actúa sobre ella.

Dejando la segunda bolita en una posición fija sobre la escala, los alumnos pueden anotar en su cuaderno dicha posición  $L$ , así como el desplazamiento  $D$  de la bolita del péndulo, de modo que pueden calcular fácilmente la distancia  $d$  que hay entre ambas:

$$d = D + L$$

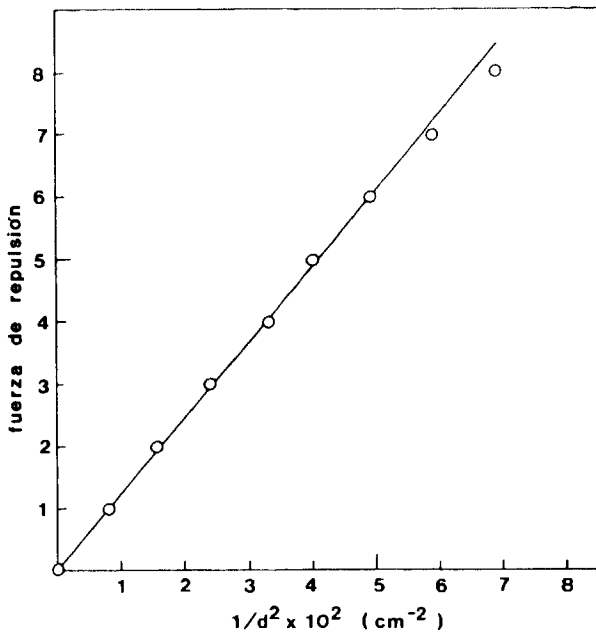


Figura 5.—Representación gráfica  $F - 1/d^2$

Acercando más ambas bolitas, la primera experimenta un desplazamiento cada vez mayor. Todos los alumnos del aula observan las sombras de las dos bolitas sobre la pantalla participando en la lectura de los datos experimentales. Los valores correspondientes a diferentes posiciones de ambas bolitas los recogen en una tabla parecida a la indicada, donde se muestran los obtenidos por nosotros. Los números que anote cada alumno no tienen que coincidir necesariamente con los de sus compañeros, dependiendo de las apreciaciones personales propias de cada observador.

| $F \propto D$<br>(cm) | L<br>(cm) | $d = D + L$<br>(cm) | $1/d^2 \times 10^2$<br>( $\text{cm}^{-2}$ ) |
|-----------------------|-----------|---------------------|---|
| 0                     | $\infty$  | $\infty$            | 0   |
| 1,0                   | 10,0      | 11,0                | 0,8   |
| 2,0                   | 6,0       | 8,0                 | 1,6   |
| 3,0                   | 3,5       | 6,5                 | 2,4   |
| 4,0                   | 1,5       | 5,5                 | 3,3   |
| 5,0                   | 0,0       | 5,0                 | 4,0   |
| 6,0                   | -1,5      | 4,5                 | 4,9   |
| 7,0                   | -2,9      | 4,1                 | 5,9   |
| 8,0                   | -4,2      | 3,8                 | 6,9   |

A continuación los alumnos construyen una gráfica, representando en ordenadas el desplazamiento D (que es equivalente a la medida de la fuerza) y en abscisas  $1/d^2$ . Deben obtener una línea recta que pasa por el origen de coordenadas (figura 5). Como consecuencia, deben concluir que la fuerza que actúa sobre las cargas es directamente proporcional a  $1/d^2$ , es decir, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Al representar la gráfica  $F - 1/d^2$ , damos por sentado de antemano que el exponente de la distancia

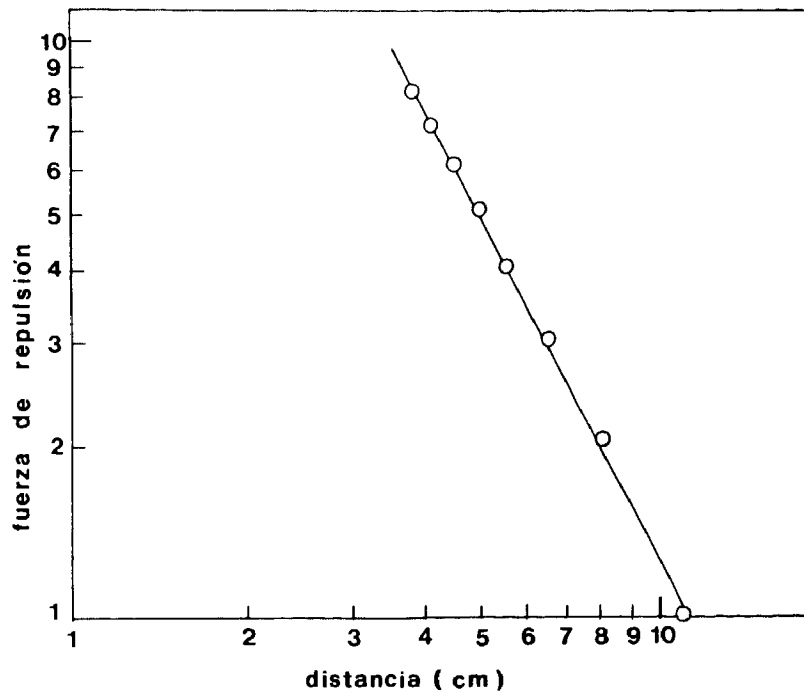


Figura 6.—Representación gráfica  $\log F - \log d$ . Obsérvese que la pendiente de la recta es -2.

es 2. Puede ser instructivo escribir la Ley de Coulomb en la forma

$$F = \frac{k}{d^n}$$

(siendo

$$k = \frac{Q \cdot Q'}{4 \pi \epsilon_0})$$

y determinar a continuación el exponente n que afecta a la distancia.

Para ello tomemos logaritmos en la expresión anterior:

$$\log F = \log k - n \log d$$

Representando gráficamente  $\log F$  frente a  $\log d$  se debe obtener una línea recta cuya pendiente es precisamente  $-n$ .

En la gráfica de la figura 6 se puede apreciar que la pendiente de la recta es sensiblemente igual a  $-2$ . Por lo tanto podemos concluir que  $n = 2$ . Es decir, el exponente que afecta a la distancia en la Ley de Coulomb es 2.

Para terminar, conviene no olvidar que la Ley de Coulomb solamente se puede aplicar a aquellas cargas cuyas dimensiones son despreciables comparadas con la distancia que las separa. En nuestros experimentos hemos comprobado que la Ley de Coulomb deja de cumplirse cuando la distancia de separación es inferior a cuatro veces el diámetro de las bolitas. Es decir, si el diámetro de éstas es de 1 cm, la distancia entre ambas bolitas debe ser mayor de 4 cm. Cuando la distancia es inferior a este valor los correspondientes puntos representados en la gráfica  $F - 1/d^2$  se separan sensiblemente de la recta acercándose al eje de abscisas, indicando con esto que la fuerza de repulsión es menor de la esperada. Estos resultados son concordantes con los obtenidos por M. Marie Davy a mediados del siglo pasado cuando se puso en tela de juicio la exactitud y validez de la Ley de Coulomb.

# El oscilador salino

Por Jesús M. MERINO de la FUENTE y Ana M.<sup>a</sup> de DIEGO BEADE (\*)

En 1970 Seelye Martin, de la Universidad de Washington, descubrió un curioso efecto basado en la diferencia de densidad de dos líquidos. Tal efecto puede ser observado fácilmente si se llena un recipiente alto de vidrio, como por ejemplo una probeta, con agua de manera que el nivel de ésta llegue casi hasta el borde del recipiente. Tomando luego un vasito de plástico de paredes finas, como por ejemplo los que se utilizan para envasar helados y poniendo en él un líquido coloreado de mayor densidad que el agua, se sumerge el vaso hasta que los niveles de ambos líquidos coincidan. Si a continuación se practica en el fondo del vaso un orificio con ayuda de un alfiler podrá verse cómo una fina vena de líquido coloreado desciende a través del agua.

Este flujo descendente está motivado por el hecho de que en la interfase que separa a ambos líquidos la presión ejercida hacia abajo por el líquido coloreado es mayor que la presión ejercida hacia arriba por el agua.

Cabe suponer que dicho flujo cesará definitivamente cuando ambas presiones se hagan iguales, es decir, cuando el nivel del líquido contenido en el vaso esté por debajo del nivel del agua que contiene la probeta. Pero no es así, ya que el flujo se detiene tan sólo durante un cierto tiempo para reaparecer de nuevo, y así sucesivamente hasta que ambos líquidos queden homogeneizados.

Jearl Walker hace una extensa descripción del fenómeno e indica que éste se aprecia muy bien si en el vaso se pone una disolución de sal común en agua. Por este motivo al mencionado dispositivo se le da el nombre de «oscilador salino».

Pese a que después de varias oscilaciones la disolución se ha diluido, el período del oscilador permanece sensiblemente constante, dependiendo sin embargo del radio del poro y del radio del vaso, así como de la concentración inicial de la disolución salina.

La eyección inicial del líquido coloreado se comprende fácilmente al considerar que la presión hidrostática que se ejerce en la interfase del poro es mayor por arriba que por abajo. Sin embargo, resulta más difícil explicar porque el sistema no se estabiliza al cesar el flujo salino ya que, por el contrario, se produce un flujo de agua ascendente desde la probeta hacia el interior del vaso. Dicho flujo puede observarse si en un segundo experimento se colorea el agua en lugar de la disolución.

La inversión de flujo puede explicarse si se tiene en cuenta que en ese momento la presión de la disolución salina equilibra a la presión del agua y a la tensión interfacial. Puesto que la película que separa a ambos líquidos es extremadamente débil, cualquier agente fortuito, por pequeño que sea, puede romperla. Esta ruptura tiene lugar en el momento de la inversión, lo que motiva la desaparición de la tensión interfacial. El desequilibrio de presiones enton-

ces existente motiva la entrada de agua hacia el interior del vaso.

El flujo de agua ascendente finaliza con una segunda inversión que sucede de modo análogo, pero al revés, lo que motiva la reaparición del flujo salino descendente. Este último se produce debido a que la entrada de agua hacia el interior del vaso hizo subir el nivel del líquido de éste, situando al sistema en unas condiciones análogas a las del comienzo del experimento.

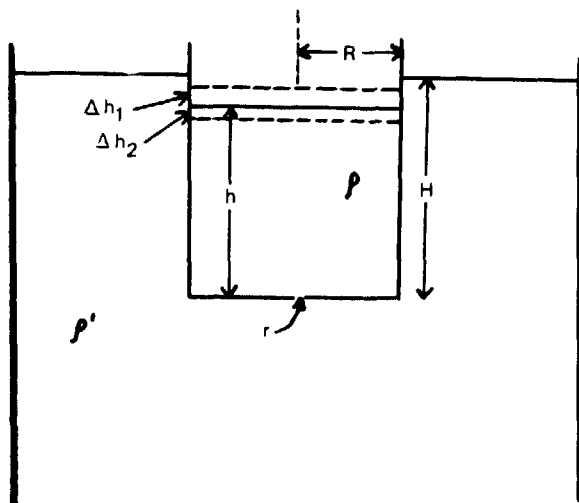


FIGURA 1

Pensamos que el efecto anteriormente explicado podría constituir motivo de un interesante trabajo práctico por parte de los alumnos de nuestros centros, dado lo barato de los materiales a emplear así como lo sencillo del funcionamiento del oscilador salino y fácil observación del mismo.

Al objeto de construir una práctica de laboratorio para alumnos, basada en el oscilador salino, se ha procedido a un estudio teórico previo del mismo y posteriormente se ha realizado una experimentación, al objeto de comprobar el cumplimiento de la expresión teórica obtenida por nosotros para el período del oscilador salino.

Sean dos disoluciones de densidades  $\rho$  y  $\rho'$ , dispuestas en la forma que se indica en la figura 1, siendo  $\rho > \rho'$ . Sean  $r$  y  $R$  los radios del poro y del vaso respectivamente.

Ambos líquidos se encontrarán en equilibrio si la

(\*) Catedrático y Profesora Agregada del Instituto de Bachillerato «Ramiro de Maeztu», de Vitoria, respectivamente.



presión hidrostática es igual por ambas caras de la película interfacial, es decir, si:

$$\rho g h = \rho' g H \quad (1)$$

de donde:

$$h = \frac{\rho'}{\rho} H \quad (2)$$

Por lo tanto  $h$  depende de la profundidad del fondo del vaso respecto de la disolución exterior, así como de la relación de densidades entre ambas disoluciones.

Supongamos ahora que está fluyendo disolución desde el exterior del vaso hacia su interior, en sentido ascendente. Dicho flujo cesará cuando la fuerza de la tensión interfacial,  $F_{\sigma}$ , sea igual a la resultante de las dos fuerzas motivadas por las presiones hidrostáticas por uno y otro lados de la película interfacial,  $F$  y  $F'$  según se expresa en la figura 2, es decir, cuando

$$F_{\sigma} = F - F' \quad (3)$$

Debido a la entrada de líquido en el vaso a través del poro, el nivel  $h$  de líquido en el interior de éste, se habrá incrementado en una cierta cantidad  $\Delta h_1$ . Por lo tanto, en el momento de la inversión de flujo, la expresión (3) adoptará la forma:

$$2\pi r \sigma = [\rho g (h + \Delta h_1) - \rho' g H] \pi r^2 \quad (4)$$

desarrollando:

$$2\pi r \sigma = (\rho h + \rho \Delta h_1 - \rho' H) g \pi r^2 \quad (5)$$

$$\rho h + \rho \Delta h_1 - \rho' H = 2\sigma / r g \quad (6)$$

$$\Delta h_1 = \frac{2\sigma}{r g \rho} - h + \frac{\rho'}{\rho} H \quad (7)$$

Teniendo en cuenta la expresión (2):

$$\Delta h_1 = 2\sigma / r \rho g \quad (8)$$

Supongamos ahora que está fluyendo disolución del vaso, en sentido descendente. Similarmente a como se hizo al plantear la ecuación (4), podemos escribir la condición de inversión de flujo de la siguiente manera:

$$-2\pi r \sigma = (\rho' g H - \rho g h + \rho' g \Delta h_2) \pi r^2 \quad (9)$$

Por un desarrollo análogo al anterior se llega a:

$$\Delta h_2 = -2\sigma / r \rho' g \quad (10)$$

Las variaciones de nivel para la disolución contenida en el vaso serán:

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = \frac{2\sigma}{r \rho g} - \frac{2\sigma}{r \rho' g} = \frac{2\sigma}{r(\rho - \rho') g} \quad (11)$$

Por otro lado, el volumen del líquido que fluye durante un semiperíodo es:

$$V = \pi R^2 \Delta h \quad (12)$$

Dando a  $\Delta h$  el valor expresado en (11):

$$V = \frac{2\pi \sigma R^2}{r(\rho - \rho') g} \quad (13)$$

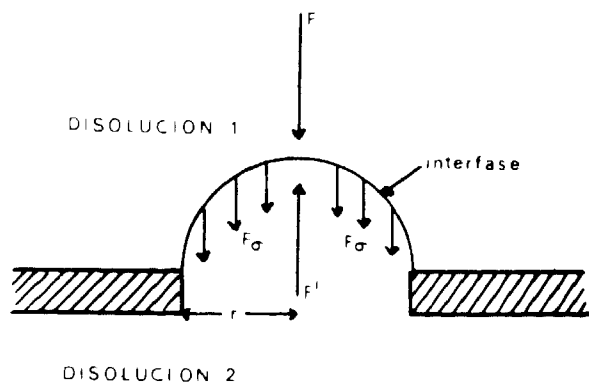


FIGURA 2

y el gasto volumétrico medio a través del poro durante un semiperíodo  $t$ , será:

$$\pi r^2 \bar{v} = \frac{2\pi \sigma R^2}{r(\rho - \rho') g t} \quad (14)$$

siendo  $\bar{v}$  la velocidad media de paso del líquido por el orificio.

Si se admite que el tiempo de duración de los flujos ascendentes y descendentes es igual, entonces el periodo de oscilación será:

$$T = \frac{4\pi \sigma R^2}{(\rho - \rho') g \bar{v} r^3} \quad (15)$$

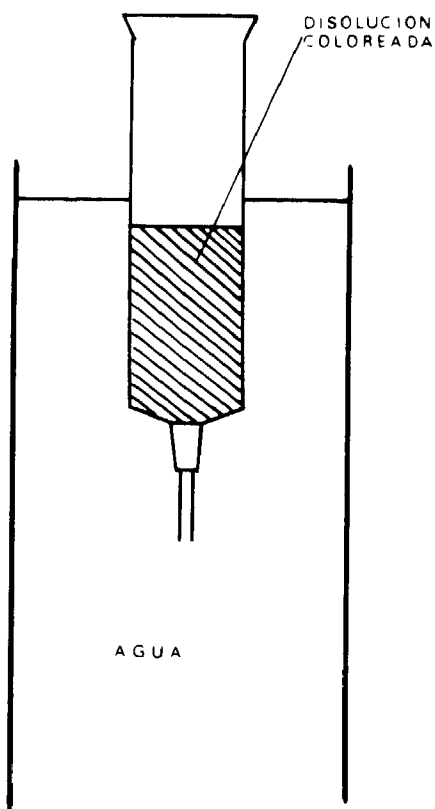


FIGURA 3

El periodo del oscilador salino es por lo tanto directamente proporcional al cuadrado del radio del vaso e inversamente proporcional a la diferencia de densidades de ambos líquidos, así como al cubo del radio del poro. También influyen la velocidad media de paso (influenciada por las viscosidades de los líquidos) y de la tensión interfacial. Ambas magnitudes están condicionadas por la temperatura.

### Comprobación experimental de la ley del oscilador salino

Para comprobar el cumplimiento de la expresión (15), propuesta por nosotros para el periodo del oscilador salino, se ha estudiado la influencia que sobre dicho periodo tienen los radios del vaso y del orificio, así como la diferencia de densidades entre ambos líquidos.

El dispositivo experimental empleado es el que se esquematiza en la figura 3, en la que se aprecia que como vaso se ha utilizado una jeringuilla, por ser éste un recipiente cuyo radio interior puede ser perfectamente conocido, existiendo en el mercado jeringuillas de diversos tamaños. Como orificio se han utilizado una colección de agujas hipodérmicas de diversos diámetros, según se indica en las tablas correspondientes.

En la probeta se puso agua destilada y las disoluciones de NaCl también se hicieron con agua destilada. Estas últimas se colorearon inmediatamente antes de su utilización con un cristalito de  $\text{KMnO}_4$ .

Todas las medidas fueron realizadas a  $20^\circ \text{C}$ .

Las densidades de las disoluciones fueron determinadas picnométricamente.

#### A) Influencia de la densidad de la disolución.

Se preparó una disolución saturada de NaCl a la temperatura ambiente cuya densidad resultó ser  $1,129 \text{ g/cm}^3$ . A partir de ella, por dilución, se obtuvieron las restantes disoluciones, cuyas densidades aparecen en la tabla 1.

Se fueron midiendo los periodos del oscilador salino utilizando todas y cada una de las disoluciones con una misma jeringuilla. Las medidas aparecen en la tabla 1.

Pudo comprobarse de manera fehaciente que el periodo del oscilador no varía, pese a la progresiva dilución experimentada por la disolución salina. Ello se debe a que en realidad no se produce una homogeneización de la disolución sino que el agua asciende a través de ésta, sin mezclarse, situándose por arriba. De este modo, al no variar sensiblemente la concentración de la parte inferior de la disolución, especialmente en las proximidades del poro, no se modifican las características de la interfase, que es en definitiva quien controla las inversiones de flujo.

Al representar  $T$  en función de  $1/(\rho - \rho')$  (fig. 4) aparecen unos puntos alineados, coherentemente con las previsiones de la expresión (15).

#### B) Influencia del radio del poro.

Se midieron los periodos de un oscilador salino constituido por la misma jeringuilla del experimento anterior, conteniendo disolución salina de densidad  $\rho = 1,129 \text{ g/cm}^3$  y utilizando una serie de agujas de radios variados. Los resultados aparecen en la tabla 2.

La representación del periodo en función de  $(1/r^3)$  aparece en la figura 5.

#### C) Influencia del radio del vaso.

Se utilizaron para este experimento una aguja de  $0,7 \text{ mm}$  de diámetro inferior y disolución de densi-

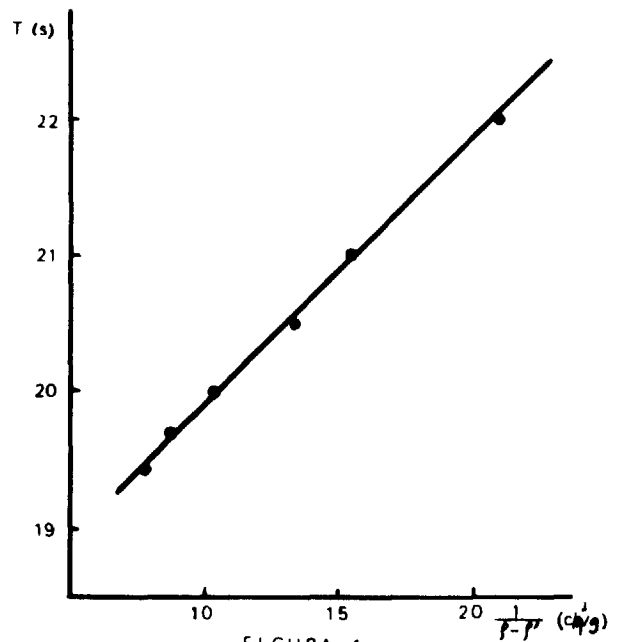


FIGURA 4

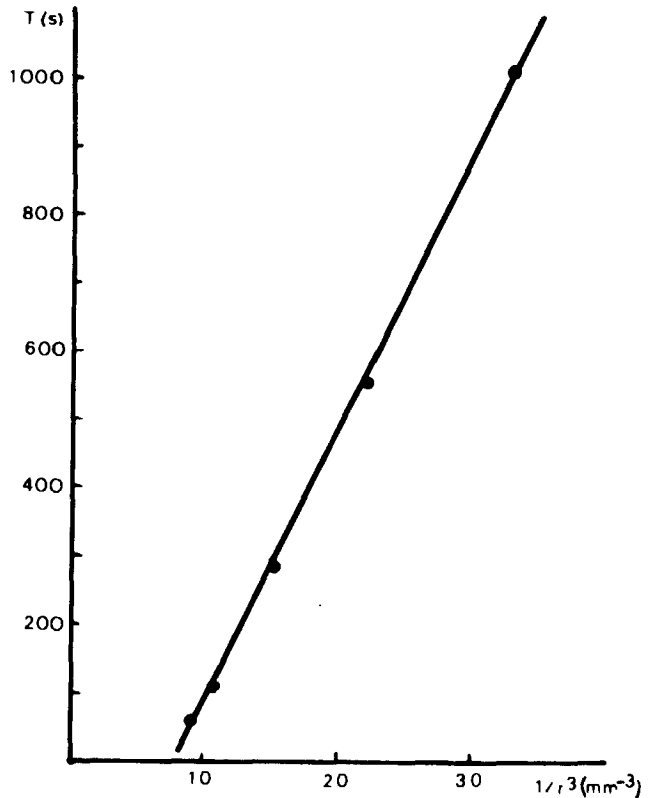


FIGURA 5

dad  $\rho = 1,129 \text{ g/cm}^3$ , así como jeringuillas de diversos tamaños, según se indica en la tabla 3.

La representación del periodo en función de  $R^2$  aparece en la figura 6.

### El oscilador salino como práctica para alumnos

A continuación proponemos el guión de una posible práctica para alumnos, basada en el oscilador salino y sus propiedades:

Materiales: Probeta de 1 litro

NaCl puro

Jeringuilla de 5 ml (el diámetro interior de la embocadura debe ser inferior a 1 mm)

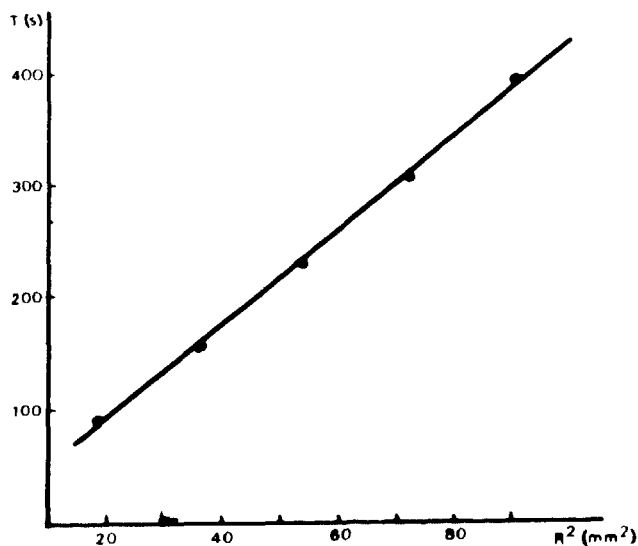


FIGURA 6

Soporte con pinzas

KMnO<sub>4</sub>

Picnómetro

Matraces de 100 ml (cinco)

Pipetas de 50, 25, 20 y 10 ml

Balanza

Cronómetro

El oscilador salino es un dispositivo cuyo funcionamiento se basa en la diferencia de densidades de dos líquidos, siendo su período inversamente proporcional a dicha diferencia. También el período está condicionado por otras variables, tales como los radios del orificio y de la jeringuilla, así como en menor medida por la viscosidad de los líquidos y la tensión superficial de la interfase que separa a ambos líquidos en el orificio inferior.

Ejecución práctica: Preparar 1 litro de disolución saturada de NaCl en agua (mejor si es destilada) y determinar su densidad picnométricamente:

masa del picnómetro vacío = g

masa del picnómetro lleno = g

masa de la disolución = g

volumen de la disolución = cm<sup>3</sup>

densidad de la disolución = g/cm<sup>3</sup>

Pipetear 75, 50, 25, 20 y 10 ml. de la disolución en cada uno de los cinco matraces de 100 ml y enrasar con agua. Una vez homogeneizado el contenido de todos ellos añadir un cristalito de KMnO<sub>4</sub> y tapar.

(ρ<sub>1</sub>) = densidad de la disolución original = ρ<sub>1</sub> = g/cm<sup>3</sup>

ρ<sub>2</sub> = densidad de la disolución (2) = 1 + (1 - ρ<sub>1</sub>) (3/4) = g/cm<sup>3</sup>

ρ<sub>3</sub> = densidad de la disolución (3) = 1 + (1 - ρ<sub>1</sub>) (1/2) = g/cm<sup>3</sup>

ρ<sub>4</sub> = densidad de la disolución (4) = 1 + (1 - ρ<sub>1</sub>) (1/4) = g/cm<sup>3</sup>

ρ<sub>5</sub> = densidad de la disolución (5) = 1 + (1 - ρ<sub>1</sub>) (1/5) = g/cm<sup>3</sup>

ρ<sub>6</sub> = densidad de la disolución (6) = 1 + (1 - ρ<sub>1</sub>) (1/10) = g/cm<sup>3</sup>

Disponer el oscilador según se indica en la figura 3 y medir el tiempo invertido en cada una de las sucesivas eyecciones, ¿qué se observa?

Repetir la medida del período con las restantes disoluciones y representar gráficamente el período en función del inverso de la diferencia de densidades

entre la disolución y el agua, construyendo previamente la siguiente tabla de resultados:

| T (s) | ρ (g/cm <sup>3</sup> ) | (ρ - ρ <sub>agua</sub> ) (g/cm <sup>3</sup> ) | 1/(ρ - ρ <sub>agua</sub> ) (cm <sup>3</sup> /g) |
|-------|------------------------|---|---|
|-------|------------------------|---|---|

Cuestionario

- ¿Podría oscilar un oscilador salino si en lugar de disolución se pusiese agua?, ¿por qué?
- ¿A qué puede deberse la diferencia de niveles entre el agua y la disolución?
- La vena líquida coloreada desciende varios centímetros y luego se deshace formando anillos como los que saben hacer los buenos fumadores de pipa. Explicar a qué se debe su formación.

Esta práctica fue realizada por los alumnos de Física del C. O. U. del Instituto «Ramiro de Maeztu», de Vitoria, con buenos resultados, invirtiendo tres horas en su realización.

TABLA 1

Influencia de la densidad de la disolución

| ρ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1/(ρ - ρ') | T (s) |
|------------------------|------------|-------|
| 1,129                  | 7,72       | 19,5  |
| 1,115                  | 8,70       | 19,7  |
| 1,097                  | 10,31      | 20,0  |
| 1,075                  | 13,33      | 20,5  |
| 1,065                  | 15,46      | 21,0  |
| 1,047                  | 21,28      | 22,0  |

TABLA 2

Influencia del radio del poro

| r (mm) | 1/r (mm <sup>-1</sup> ) | 1/r <sup>3</sup> (mm <sup>-3</sup> ) | T (s) |
|--------|-------------------------|--------------------------------------|-------|
| 0,50   | 2,00                    | 8,00                                 | 55    |
| 0,45   | 2,22                    | 10,97                                | 114   |
| 0,40   | 2,50                    | 15,63                                | 282   |
| 0,35   | 2,86                    | 23,32                                | 557   |
| 0,30   | 3,33                    | 37,03                                | 1010  |

TABLA 3

Influencia del radio del vaso

| R (mm) | R <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> ) | T (s) |
|--------|-----------------------------------|-------|
| 9,50   | 90,25                             | 393   |
| 8,50   | 72,25                             | 308   |
| 7,35   | 54,00                             | 230   |
| 6,05   | 36,60                             | 157   |
| 4,35   | 18,92                             | 81    |

Bibliografía

- WALKER, Investigación y Ciencia. Diciembre de 1977.
- VÍCTOR L. STREETER, «Mecánica de los fluidos». Trad. E. Romero y J. Moneva. Ed. del Castillo, 1970.

# Eficaz generador de Van de Graaff

Por José M. PEREIRA CORDIDO (\*)

Cuando se inicia el estudio de campos vectoriales, constituye una inestimable ayuda la visualización de los mismos, sobre todo a nivel de cursos elementales, y que en el caso de nuestra asignatura debería de hacerse en 2.º de BUP.

Refiriéndonos concretamente al campo eléctrico, consideramos idóneo el empleo de cubetas electrostáticas transparentes, tales como las del equipo de ENOSA. No obstante, su utilidad está supeditada a que el generador de Van de Graaff —elemento indispensable del equipo— inicie el proceso de carga, y alcance el potencial adecuado.

Hemos constatado en numerosísimas ocasiones que si la humedad relativa del aire se aproxima al 80 % (valor muy frecuente en amplias áreas de nuestro país), es prácticamente imposible conseguir realizar la experiencia, utilizando el generador del citado equipo.

Por nuestra parte, alteramos la disposición de las poleas, el régimen de giro del motor, la calidad de la cinta transportadora y las más variadas disposiciones de las rejillas; pero los resultados no han sido satisfactorios. Creemos que en las citadas condiciones ambientales, y por las específicas características constructivas de este generador autoexcitable, no le es posible iniciar el proceso; o si éste se inicia, la corriente de carga es demasiado débil para superar la que constantemente se disipa a través del aire.

Ante esta situación y el desorbitado coste de otros modelos, hemos optado por construir un generador de Van de Graaff de pequeña potencia, dado que en una reciente publicación (1) se proporcionan datos muy específicos y detalles de suma importancia para la construcción de este tipo de generadores.

La figura 1 muestra el aspecto de nuestro generador que difiere del modelo de Robert W. Cloud (1) en que nuestro colector es esférico, el tubo soporte es de vidrio y la cinta transportadora es de nilón. Los resultados son altamente satisfactorios, ya que las pruebas realizadas demuestran su capacidad para cargar en condiciones ambientales muy desfavorables —en las que otros fracasaban— e inmediatamente a su puesta en marcha.

Resumimos a continuación, con las oportunas ilustraciones, algunos datos de interés, específicos de nuestro modelo.

El motor de arrastre pertenece al equipo de Mecánica superior de ENOSA, y mueve una polea de madera de 16 mm de diámetro y unos 40 mm de longitud (fig. 2), embutida en un tubo de polietileno de 2 mm de pared. Con el mismo tubo de polietileno se construyeron los rebordes que sirven de guía a la cinta.

La polea superior es metálica; en su interior se

alojan un par de rodamientos a bolas, a través de los cuales pasa un eje que pivotado en sus extremos permanecerá fijo (fig. 3). Esta solución nos parece más sencilla que la de fijar los rodamientos y hacer el eje móvil (1).



Figura 1.

La cinta transportadora se construyó uniendo los extremos de un trozo de cinta de nilón de 81 cm de largo y 2,5 cm de ancho. El sentido del movimiento está indicado en la figura 4.

Los peines superior e inferior (fig. 4), fueron fabricados con un pequeño trozo de tela metálica. Con el fin de que el peine inferior pueda colocarse en una posición óptima, se le sujeta mediante una pinza metálica, atornillada a la base de madera, pero que consiente una amplia variedad de posiciones de la rejilla inferior.

La columna está constituida por tres porciones de

(\*) Dr. en Ciencias. Catedrático de Física y Química de I. B. Mixto de Chantada (Lugo).

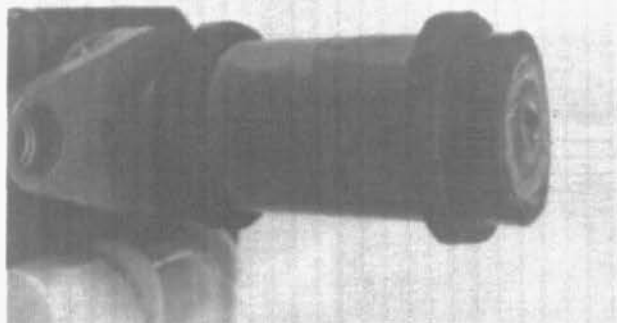


Figura 2.

tubo encajadas. De este modo, su longitud puede variarse ligeramente y conseguir que la cinta transportadora esté sometida a la tensión oportuna, reemplazarla por otra en caso de rotura y realizar ensayos con otras de diferentes materiales. La parte central de la columna es un tubo de vidrio de 50 mm de diámetro y 300 mm de longitud. En sus extremos se encajan dos trozos de tubo de cloruro de polivinilo que permiten una fácil sujeción de la columna a la base de madera, y el alojamiento de la polea superior.

El colector se construyó a partir de una pelota de plástico recubierta con lámina de aluminio.

La ventaja de emplear una ligera cinta de nilón, consiste en que el citado motor permite el paso de unos 800 cm<sup>2</sup>/s de cinta. Los datos de que disponemos indican que la corriente de carga es del orden de 2-3 microamperios.

Lo expuesto, pone de relieve lo sencillo y económico que resulta la construcción del generador, que en esencia es idéntico a otros, pero en el que los detalles relativos a las poleas (materiales y disposición), la calidad de la cinta y su repercusión en el régimen de giro del motor, así como la posibilidad de variar fácilmente la posición del peine inferior son



Figura 3.

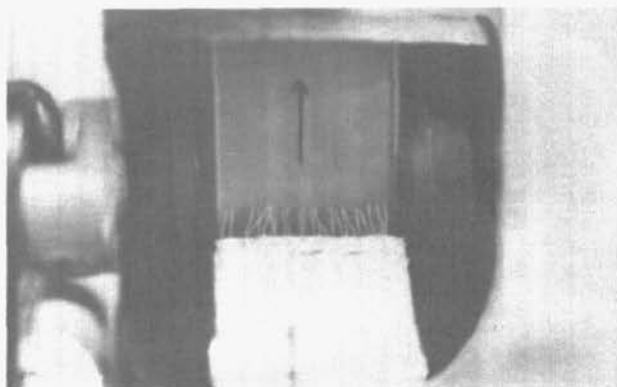


Figura 4.

la causa determinante de un correcto proceso de carga.

#### REFERENCIAS

1. C. L. STONG, «Construcción de un generador electrostático de Van de Graaff». *Investigación y Ciencia* 4,102 (1977).

**Sm**  
Ediciones



#### PRACTICAS DE QUIMICA

Capitulino González Martín  
Doctor en Ciencias Químicas,  
Catedrático de I.N.B.

María Antonia Calama Crego  
Doctora en Ciencias Químicas

(21 x 27)

*Prácticas de Química* es un libro destinado a servir de complemento experimental al desarrollo de los programas de Química de 2.º BUP, 3.º BUP, Formación profesional y COU.

Los experimentos, cuidadosamente seleccionados y desarrollados por el catedrático GONZÁLEZ MARTÍN y por la doctora CALAMA CREGO, tocan los puntos fundamentales de los programas de los cursos mencionados y se pueden llevar a cabo con material sencillo, habitual en todo laboratorio escolar. Todas las prácticas han sido experimentadas en diversas situaciones y con los medios rudimentarios que se indican, de modo que ofrecen un gran margen de fiabilidad.

Este libro no es un recetario que lleve a realizar las prácticas mecánicas y rutinariamente. Al contrario, continuamente se incita al alumno a la reflexión y a la justificación de cada uno de los pasos que da en la realización de una determinada experiencia. También se insiste permanentemente en el análisis de los resultados obtenidos y en la deducción de conclusiones a partir de los mismos.

La presente obra está dirigida técnica y científicamente por la Asociación Nacional de Químicos de España (ANQUE).

# Experiencias pedagógicas sobre Intercambio Iónico

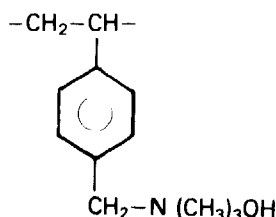
Por Marceliano Rafael PARDO CASAS (\*) y M.<sup>a</sup> Carmen PARDO LOMAS (\*\*)

## INTRODUCCION

Aunque fueron ya comercializadas antes de la segunda guerra mundial por la I. G. Farben, es en estos últimos años cuando las resinas artificiales intercambiadoras de iones han ampliado tanto su campo de aplicaciones que su empleo ha llegado a adquirir la categoría de operación unitaria de la Ingeniería Química, parangonándose, por ejemplo, con la destilación, la absorción o la cristalización. Pero además el tema presenta actualmente un atractivo especial para los jóvenes por su íntima relación con la creciente y preocupante contaminación de las aguas, uno de los caballos de batalla de los cada día más boyantes movimientos ecologistas.

Nosotros hemos puesto a punto unas experiencias de intercambio iónico, que además de dar a conocer a los alumnos de C. O. U. y de profesorado de E. G. B., una serie de conocimientos prácticos sobre el tema, pueden ser aprovechadas por el profesorado para relacionar este fenómeno con diversas cuestiones de Física y de Química, consiguiéndose así una interesante visión de conjunto de todo el proceso lo que incrementa grandemente los objetivos buscados.

Empleamos como resina cambiadora la Amberlita-IRA-94 que presenta carácter débilmente básico por poseer como grupo activo una base de amonio cuaternaria. La fábrica española sita en Tudela la suministra al comercio en la forma hidróxido, que posee el grupo

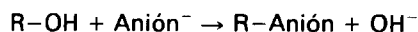


(\*) Catedrático de Física y Química del I. B. «Cardenal López de Mendoza» de Burgos.

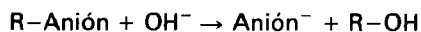
(\*\*) Profesora Agregada Interina de E. U. Profesorado E. G. B.

el cual se concatena con otros hasta dar una macromolécula de elevada masa molecular. Como es lógico pueden hacerse estas experiencias con cualquiera otra resina intercambiadora de aniones: Zerolit, Permutit, Doulite, Dowex, etc.

Recordaremos aquí que el fundamento del proceso de intercambio iónico es el siguiente: Al poner en contacto una disolución electrolítica con los gránulos de la resina intercambiadora, los aniones de la disolución pasan a formar parte de la macromolécula quedando allí retenidos.



Cuando la resina ha sustituido todos sus grupos hidróxidos, se dice que está agotada, pero como la citada reacción es reversible puede regenerarse la resina haciendo pasar a su través una disolución alcalina de concentración apropiada,



con lo que puede iniciarse otra vez el ciclo. Tratada adecuadamente una resina intercambiadora puede usarse con eficacia durante cientos de ciclos.

## APARATOS

Se prepara una columna cambiadora de iones, empleando una bureta de vidrio de 1 cm de diámetro. En la parte de la bureta inmediatamente situada por encima de la llave de vidrio, se coloca una torunda de lana de vidrio o algodón, encima de la cual se pone una capa de alrededor de un centímetro de altura, de arena lavada. Encima de la arena se depositan un par de gramos de resina —pesados al centígramo— los cuales vienen a ocupar un espesor de unos 7 cm. Con este dispositivo se consigue evitar que las pequeñas esferas que forman las resinas sean arrastradas durante el proceso. La parte superior de la bureta se cierra con un tapón de goma atravesado por un tubito de vidrio (fig. 1).

Para poder sacar conclusiones cinéticas sobre el proceso de intercambio iónico, es necesario que el

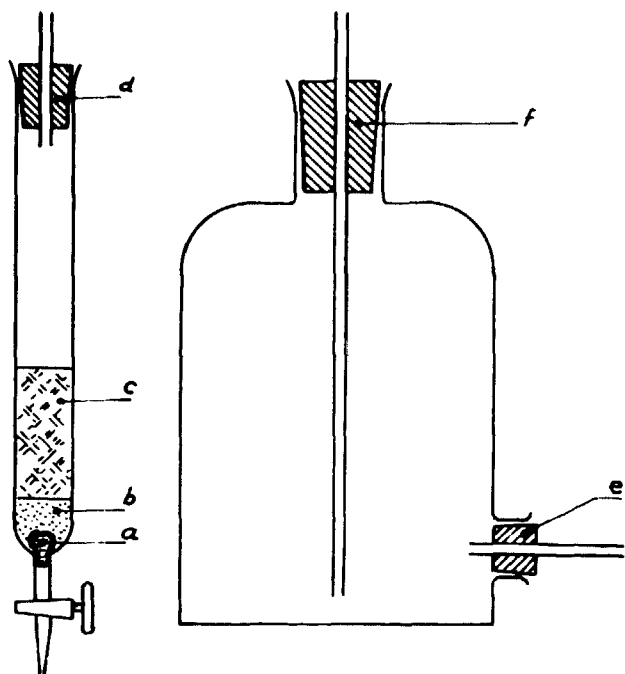


Figura 1

Figura 2

a) Torunda de lana de vidrio o algodón. b) Capas de arena lavada. c) Gránulos de resina cambiadora. d) Tapón de goma atravesado por un tubito de vidrio. e) Tapón de goma o corcho perforado y atravesado por un tubito de vidrio. f) Tapón de goma o corcho, atravesado por un tubito de vidrio que llega hasta cerca del fondo.

caudal de la disolución a través de la columna cambiadora se mantenga constante. Nosotros lo conseguimos preparando un frasco de Mariotte con un bocal de 2 litros y tubuladura lateral, según se detalla en la figura 2.

El bocal se cuelga de una cadena que rodea su cuello y permite situarlo a una altura variable por encima de la bureta.

El tubito de desagüe e) del frasco de Mariotte, se une con el que perfora el tapón de goma d) que cierra la bureta, por medio de un tubo de politeno, el cual es muy resistente a la acción oxidante del dicromato.

Modificando la altura del bocal y ajustando la llave de vidrio de la bureta se consigue la velocidad de goteo deseada, la cual se mantiene constante por el dispositivo del frasco de Mariotte, mientras haya disolución en el frasco.

Con objeto de hacer lo más pedagógicas posibles las experiencias de intercambio, es conveniente emplear disoluciones que contengan aniones coloreados, con lo cual conseguimos que el alumnado vaya observando visualmente los cambios de color en los líquidos que atraviesan la resina cambiadora.

Nosotros empleamos como sustancia más apropiada para esos efectos, el cromato potásico, que proporciona su intenso color amarillo a las disoluciones acuosas, incluso diluidas. Una concentración apropiada es la de 500 mg de cromato potásico por litro, la cual presenta por hidrólisis un  $\text{pH} = 8,0$ . Dado que la Amberlita-IRA-94 en forma hidróxido, como todas las bases débiles, apenas se disocia en disolución alcalina, es necesario a nuestro propósito, acidificar la disolución de cromato potásico añadiendo clorhídrico o sulfúrico hasta  $\text{pH}$  francamente ácido, entre 2,5 y 1, con lo que además de facilitar la ionización de la

resina cuando la disolución pasa a su través, conseguimos incrementar la coloración amarilla de la disolución de cromato por su paso al rojizo del dicromato



El empleo de disoluciones de cromato tiene también la ventaja de poner a los alumnos ante un problema real como es el de ser los cromatos uno de los agentes contaminantes, de las aguas residuales, de mayor toxicidad, aplicando así por nuestra parte el Principio de Realismo de la Ciencia Integrada.

## TECNICA OPERATIVA

Una vez lleno el bocal con la disolución ácida de dicromato potásico a la concentración de 500 mg/litro, y montado el material de la forma indicada anteriormente, se gradúa la velocidad de salida del líquido tanteando con la abertura de la llave de vidrio y se afina modificando la altura del bocal por medio de los eslabones de la cadena que le sujeta y la cual cuelga de una escarpia clavada en la pared.

Con el caudal de 20 gotas por minuto, que viene a equivaler a 1 ml/min, la capacidad de retención de cromato por los 2 gramos de resina intercambiadora alcanza a unos 2 litros de disolución de cromato potásico a la concentración de 500 mg/litro, en medio ácido.

Con el paso de cromato a través del lecho de resina, los gránulos de ésta van cambiando su color ambarino por un tono rojizo lo que permite observar, por el alumnado, el proceso que allí se produce. Mientras tanto, el líquido que fluye de la bureta, y que se recoge en un matraz, es incoloro confirmándose así la retención de los aniones dicromato por la resina.

En usos industriales la resina se considera agotada en aquel ciclo, cuando aparece en el efluente el ión a separar, en una concentración que alcanza los máximos tolerados por la legislación; éste es el momento denominado punto de ruptura. Aunque en España falta legislación sobre el tema, en Alemania Federal los vertidos de aguas residuales de las fábricas no pueden contener más de 2 mg de cromato por litro al ser vertidos al alcantarillado.

Para nuestras experiencias, esa concentración de 2 mg por litro, puede ser tomado como punto de ruptura. Esta pequeñísima concentración se puede determinar fácilmente por análisis a la gota. Para ello se prepara una disolución de 1 gramo de difenilcarbocida en 100 ml de acetona acidulada con un par de gotas de ácido sulfúrico. Tres gotas del líquido eluido a ensayar, colocadas en placa de porcelana, producen color violeta al añadir una gota del reactivo, cuando la concentración de cromatos alcanza a las 2 partes por millón.

Una vez agotada la resina, o antes si se desea, para separar el cromato que la resina tiene retenido, es suficiente pasar a través de sus gránulos, una disolución acuosa de hidróxido sódico al 6 por 100. Echando en la bureta que contiene el lecho de resina, unos 10 ml de la disolución de hidróxido sódico al 6 por 100 y dejándola descender con un caudal de 10 gotas por minuto, se consigue una elución prácticamente total del cromato que estaba retenido por la resina, la cual queda en condiciones de empezar un nuevo ciclo de intercambio iónico.

## OBJETIVOS

Numerosos son los frutos que los alumnos pueden obtener de las sencillas experiencias arriba descritas. Como mera indicación podemos citar las siguientes:

a) Los alumnos observan que una sustancia —el cromato potásico— que estaba contaminando a 2 litros de agua, queda concentrada en un volumen de 10 ml. Esta es en esencia la base de toda depuración: Conseguir concentrar un determinado contaminante en un pequeño volumen, centenares de veces inferior que el que ocupaba en principio; este pequeño volumen puede ser ya fácilmente almacenado, destruido o transformado para que no cause perjuicios al medio ambiente.

b) Puede estudiarse la cinética de la reacción de intercambio, pues si se va aumentando la velocidad de paso de la disolución de cromato a través de la resina, la retención es cada vez más pequeña, hecho observable por la aparición del cromato en el líquido que atraviesa el lecho de resina, al cual comunica su color rojizo-amarillento.

c) Dado que la resina no retiene cromatos en disolución acuosa, que a la concentración de nuestro trabajo tiene un pH = 8,0, y sin embargo cuando acidificamos la disolución retiene gran cantidad del cromato, los alumnos sacan la conclusión de que la resina apenas se ioniza en medio básico, hecho aprovechable para estudiar los equilibrios de ionización.

d) No solamente pueden observar los alumnos, la hidrólisis de manera cualitativa, sino que conocida la concentración del cromato potásico y medido el pH de la disolución acuosa obtenida, pueden calcular el grado de hidrólisis.

e) Además de poder conocer prácticamente el funcionamiento de un frasco de Mariotte, pueden realizar los alumnos cálculos sobre flujos y secciones del orificio dejado libre por la llave de vidrio con diferentes caudales de trabajo.

f) Los alumnos pueden confirmar la verdad de la reacción de intercambio de los grupos hidróxidos de la resina por los iones cromato de la disolución, no solamente al observar la desaparición del color en el líquido que atraviesa la resina, sino también midiendo el pH de la disolución antes y después de su paso a través del lecho de resina intercambiadora, en cuya medida encuentran un claro aumento del pH debido a los iones hidróxido que han pasado a la disolución.

g) Si el líquido eluido que contiene ahora como soluto hidróxido potásico, lo hacemos pasar a través de una resina intercambiadora de cationes, obtendremos un agua desionizada que sustituye al agua destilada. Los alumnos pueden observar su grado de pureza por evaporación a sequedad, pues no deja re-

siduo en la cápsula, y midiendo su debilísima conductividad eléctrica con el equipo de Electricidad II de ENOSA.

Y a todo lo anterior podemos añadir la experiencia adquirida al trabajar el vidrio, perforación de tapones, empleo de relojes cuentasegundos, medida de volúmenes, de masas, de pH con indicadores y medidor eléctrico, etc.

Dada la pequeña velocidad de paso aconsejada, de la disolución de cromato a través del lecho de resina, llegar al punto de ruptura exige casi dos días de funcionamiento ininterrumpido, lo que evidentemente no sería didáctico en la mayoría de los casos. No obstante, todos los fenómenos indicados pueden irse observando en las clases prácticas de una hora de duración.

Confiamos en que estas breves indicaciones sirvan de orientación y estímulo a nuestros compañeros docentes para introducir a sus alumnos en el sugerente campo de las resinas intercambiadoras de iones, y que dada la íntima relación que el tema tiene con los estudios sobre las micelas zeolíticas-húmicas del suelo agrícola y la alimentación de las plantas, incrementando la colaboración con el profesorado de Ciencias Biológicas y Geológicas, cumpliendo así las orientaciones de la Ciencia Integrada.

### Bibliografía

- FEIGL, F.: «Análisis a la gota». Paraninfo. Madrid.
- HELFFERICH, F.: «Ion exchange». Mc. Graw Hill. New York.
- NACHOD, F. C. y SCHUBERT, J.: «Ion exchange technology». Academic Press Inc. New York.
- DORFNER, K.: «Ion exchangers Properties and applications». Ann Arbor. Michigan.
- SAMUELSON, O.: «Ion exchange in analytical chemistry». John Wiley. New York.
- KOLTHOFF, I. M.: «Análisis Químico Cuantitativo». Wigar. Buenos Aires.
- SAVIDAN, L.: «Resinas cambiadoras de iones». Alhambra. Madrid.
- DEGREMONT: «Manual técnico del agua». Bilbao.
- Departamento de Salubridad del Estado de Nueva York: «Manual de tratamiento de aguas». Ed. Limusa. Méjico.



# Ideas sobre un primer contacto con la Química

Por Fructuoso POLO CONDE (\*) y Alvaro DIAZ TORRES (\*\*)

## INTRODUCCION Y OBJETO

Es motivación de este trabajo la idea de que uno de los modos de crear y fomentar atracción por la Química, en el alumno que se inicia en su conocimiento, sea el ponerlo en contacto con una serie de experimentos llamativos que despierten su curiosidad y al mismo tiempo el deseo de profundizar en la explicación de los fenómenos observados.

Los cambios de colores, precipitados, llamaradas y otros muchos fenómenos, tienen un carácter excitante y misterioso para el iniciado. Este primer contacto, más bien visual y cualitativo, marcará el comienzo de un camino que deberá ser, en todo momento, sugerente y atractivo. Demostraciones de este tipo son realizadas en diferentes países, tanto a nivel de Instituto como de Universidad, como un medio de acercar al conocimiento de la Química a los estudiantes y al gran público. Debemos considerar también, que hay pocas asignaturas con un carácter tan primordialmente práctico como la Química, en las que se puede recurrir a la realización de una experimentación que reúna las condiciones adecuadas.

Metas importantes son igualmente el relacionar estos experimentos con el entorno cotidiano del alumno y con otras disciplinas a un nivel adecuado a sus conocimientos. De esta manera, el alumno establecerá la gran relación que tiene la Ciencia, y en particular la Química, no sólo con su vida diaria, sino con otras materias del programa de estudios.

Por último, enlazamos esta experiencia con otro trabajo, ya elaborado, en que nuestra atención se centra en aspectos teórico-prácticos que suscitan la curiosidad del alumno y cuyas respuestas tratamos de hallar en la exposición del programa de la asignatura.

## CURSO DONDE PROCEDEMOS Y RAZON DE SU ELECCION

Teniendo en cuenta que en 2.º de B. U. P. la Química es obligatoria y tiene un carácter iniciatorio, lo hemos considerado como el curso ideal para realizar esta experiencia. Otro factor es el hecho de que en 3.º de B. U. P. la Química ya es optativa y una mala impresión en el curso anterior, al no presentarla de un modo atrayente, puede generar la deserción del alumno. Y no cabe duda que esta postura le acarrearía importantes dificultades, dada la incidencia que la Química tiene en otras asignaturas del programa y, más tarde, en sus estudios superiores.

## CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS EXPERIMENTOS

Los experimentos han sido seleccionados en función de conseguir la serie de objetivos que exponemos en la introducción. Igualmente hemos tratado, a través de ellos, de que el alumno se familiarice con el material y una serie de operaciones químicas elementales, sus cuidados y precauciones. La estructura de los experimentos es sencilla, con pocos pasos y bien diferenciados, además se ha procurado utilizar un mínimo de productos. También hemos intentado relacionarlos con las distintas parcelas de la Química que se tocan en 2.º de B. U. P., de modo que el alumno se vaya familiarizando cualitativamente con sus fines.

Los ensayos han sido realizados por el profesor al comienzo de la explicación de la Química y como una especie de prólogo de las prácticas que de modo tradicional hacen los alumnos y a las cuales durante el curso dedican una hora semanal.

## DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS

Los experimentos que pasamos a describir (1, 2) reúnen las características ya señaladas en distinto grado y, a partir de ellos, hemos tratado de que el alumno consiga los objetivos que nos hemos propuesto.

A) Sustancias químicas venenosas convertidas en inofensivas.—Se preparan 100 ml de disolución 0,1 M de hidróxido de sodio a la que añadimos unas gotas de fenolftaleína y vertemos en un erlenmeyer de 500 ml. También preparamos 100 ml de ácido clorhídrico de la misma concentración que la base. Vertemos gradualmente el ácido sobre la disolución rosa de la base, agitando después de cada adición. Llegado un momento, bastará una gota de ácido para que la disolución quede incolora.

Dividamos el contenido del erlenmeyer en dos porciones, calentemos una de ellas hasta la evaporación del líquido. Quedarán unos cristales blancos de cloruro de sodio. Si a la otra porción añadimos unas gotas de nitrato de plata diluido, se formará un precipitado de cloruro de plata que podemos filtrar.

Como temas interdisciplinarios y relacionados con

(\*) Profesor Agregado de Física y Química del I. B. «Sta. Teresa de Jesús», de Las Palmas.

(\*\*) Profesor Agregado de Física y Química del I. B. «Andrés Bello», de Santa Cruz de Tenerife.

el mundo diario del alumno, se han escogido los siguientes niveles de charlas-coloquio:

1. Los colorantes naturales y el comercio de los fenicios en el Mediterráneo.

2. Aplicaciones de las reacciones de precipitación en Medicina y procedimientos de purificación.

3. Importancia del colorante de la «cochinilla» en la economía canaria.

B) Escritura en papel de filtro mediante formación de complejos.—Preparar tres disoluciones 0,1 M de tiocianato de amonio, hexacianofenato (II) de potasio y cloruro de hierro (III). Utilizando un pulverizador escribir palabras con la primera y segunda disolución sobre un papel de filtro y añadir a continuación cloruro de hierro (III) utilizando el pulverizador. Debido a la formación de los respectivos complejos de coloraciones roja y azul se producirá el revelado de las palabras escritas.

C) Composición del azúcar.—Llenar hasta la mitad un vaso de precipitado de 150 ml con azúcar y agitarlo con una varilla mientras añadimos ácido sulfúrico concentrado, unos 40 ml. Pronto se oscurece el azúcar, comienza la efervescencia y se producen nubes de vapor acompañadas de una gran columna de carbón muy espectacular.

Las charlas dadas hacen referencia a los siguientes temas:

1. La industria del azúcar en Canarias durante el siglo XVI: iniciación del monocultivo.

2. Consumo de azúcar y enfermedades.

D) Blanqueo con dióxido de azufre.—Para realizar esta operación pongamos 1 g de hidrogenosulfito de sodio en un vaso de precipitado con cuello largo y añadamos unas 10 gotas de ácido sulfúrico concentrado. Aunque no sea visible, el dióxido de azufre formado llena pronto el vaso de precipitado. Vertamos su contenido en una probeta de 100 ml y añadamos agua teñida con permanganato de potasio. El permanganato se decolorará.

El tema expuesto ha sido: «El dióxido de azufre y sus aplicaciones: desinfección de locales, conservación de alimentos y blanqueo de materiales».

E) Catalizadores.—El cobre metálico calentado nos permite transformar el metanol en metanal. Para ello enrollamos en hélice el extremo de un alambre de cobre y calentemos moderadamente un poco de metanol en un tubo de ensayo. Calentamos también el alambre de cobre y lo sumergimos en el vapor de metanol. El cobre provoca la unión del vapor con el oxígeno del aire y de la película de óxido que lo cubre y el olor del metanol se transforma en el picante del metanal.

Hemos tratado aspectos de:

1. Los catalizadores y la Industria Química.
2. Los alquimistas y su idea de catalizador.

F) Los extintores y el dióxido de carbono.—Mediante dos experimentos cuyo resultado final es la producción de dióxido de carbono, podemos comprobar su comportamiento ante el fuego:

a) Pongamos 1 g de hidrogenocarbonato de sodio en un vaso de precipitado de cuello largo y añadamos unas gotas de ácido etanoico concentrado. Se formará dióxido de carbono que llenará rápidamente el vaso. Si a continuación lo vertemos sobre la llama de una vela desde el vaso, utilizando un canalón de papel, la llama se apaga.

b) Podemos producir el mismo efecto sobre unos papeles quemados en un recipiente si soplamos unos gramos de hidrogenocarbonato de sodio sobre éste. Al calentar el hidrogenocarbonato de sodio se descompone en carbonato y dióxido de carbono. La reacción toma del fuego una gran cantidad de calor y además el dióxido hace de sofocador.

La charla se ha dado sobre: «Tipos de incendio y sustancias químicas convenientes para apagarlos».

G) ¿De qué manera se sustituyen los metales?—Se trata de obtener un «árbol» con «hojas de plata brillantes» utilizando la serie activa de metales. Para obtener este árbol se disuelven 6 g de nitrato de plata en 50 ml de agua. A continuación vertemos esta disolución en un frasco y suspendemos del mismo, mediante un cordel atado al tapón, un rollito de hojas de estaño limpiado previamente. Al cabo de unos minutos cristales de plata se depositarán sobre las hojas de estaño.

## CONCLUSIONES

Es difícil evaluar de un modo preciso la efectividad en cuanto atracción hacia la asignatura de estos pequeños espectáculos químicos.

Debemos anotar que a los alumnos les ha sorprendido la colaboración interdisciplinaria, lo que quizás sea debido a que les construimos una diferenciación demasiado estricta entre las Ciencias y Letras. Anotamos también que los aspectos prácticos de los experimentos generaron una gran curiosidad por su parte, plasmada en abundantes preguntas. En general, pensamos que la experiencia ha tenido una incidencia positiva, pues ha conseguido un mayor acercamiento de los alumnos a la asignatura que ha despertado su interés por diferentes temas.

## BIBLIOGRAFIA

1. L. A. FORD'S: «Chemical Magic», Fawcett, New York.
2. «Experimentos en casa», Editorial Grijalbo.

# La fotografía a través del microscopio

Por Cristóbal LARA LOPEZ (\*) y José Manuel SELAS PEREZ (\*\*)

## INTRODUCCION

Muy interesante para la enseñanza es la obtención de fotografías a través de un microscopio. Su realización resulta muy sencilla si tenemos en cuenta unos pequeños detalles.

En principio basta con colocar una cámara fotográfica con su objetivo apoyado en el ocular de un microscopio, de forma que sus ejes ópticos coincidan.

Pero físicamente se pueden presentar algunos aparentes inconvenientes, porque todos sabemos que en el microscopio se obtiene una imagen virtual y por tanto no sería posible fotografiarla. Sin embargo, el resultado es positivo.

¿Qué ocurre?

## PRINCIPIO TEORICO

Veamos el esquema de funcionamiento de un microscopio (fig. 1):

El objeto «y» se coloca cerca del foco  $F_1$ , a una distancia del objetivo  $L_1$  ligeramente superior a su distancia focal  $f_1$  por lo que se produce una imagen real, invertida y aumentada « $y_1$ ».

El ocular  $L_2$  se dispone de forma que esta imagen « $y_1$ » se forme entre ella y su foco  $F_2$ , por lo que esta lente actuará como lupa y producirá una imagen final  $y'$  que es virtual.

Interesa que  $y_1$  se produzca cerca de  $F_2$  para conseguir un mayor aumento. El microscopio se diseña de forma que la imagen final se produzca algo más lejos del ocular que la distancia mínima de la visión distinta, para una mejor acomodación del ojo.

Pero, ¿qué pasa cuando colocamos la cámara fotográfica?

Lo que hacemos es colocar, yuxtapuesta al ocular  $L_2$ , otra lente  $L_3$  de pequeña distancia focal. Esta lente es el objetivo de la cámara fotográfica.

El conjunto  $L_2L_3$  (fig. 2) se comporta ahora como una única lente cuya potencia es aproximadamente la suma de las potencias de ambas y su distancia focal  $f$  es, por tanto, menor. En primera aproximación tendríamos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} \quad (1)$$

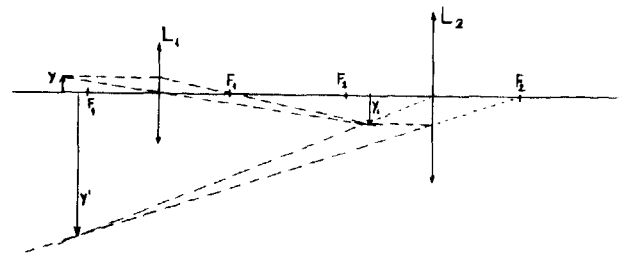


Figura 1.

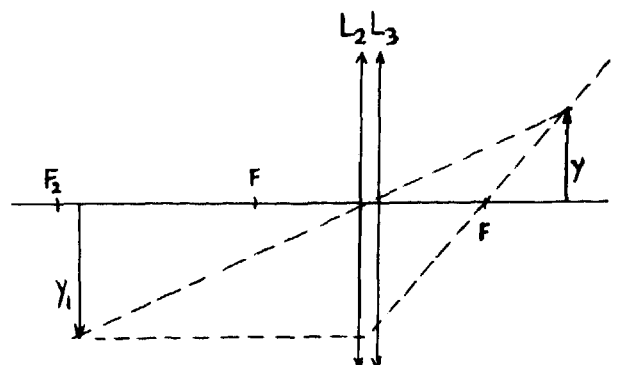
Esto hace que la imagen  $y_1$  obtenida por el objetivo del microscopio esté ahora fuera de la distancia focal  $f$  de  $L_2L_3$ , con lo que la imagen final será ahora real.

Obsérvese además que la imagen final es derecha con respecto al original.

Nuestro problema es ahora averiguar dónde se produce esta imagen. Nos vale un cálculo aproximado para demostrar que la imagen final se proyecta en un plano muy cercano al que ocupa el negativo fotográfico.

Efectivamente (fig. 3), suponiendo que  $y_1$  se forma

Figura 2



(\*) Catedrático de Física y Química del I. de B. mixto 2 de Alcalá de Henares (Madrid).

(\*\*) Profesor Agregado de Física y Química del I. de B. mixto 2 de Alcalá de Henares (Madrid).

en el foco de  $L_2$ , su distancia como objeto respecto al conjunto  $L_2L_3$  será:

$$d = f_2 \quad (2)$$

y la imagen final se formará a una distancia  $d'$  tal que:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'} \quad (3)$$

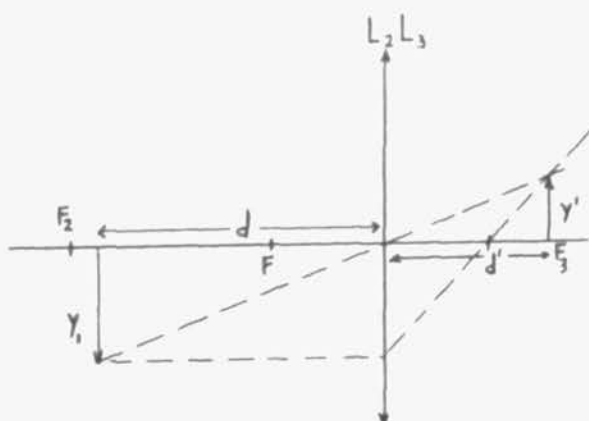


Figura 3

Sustituyendo en (1) los valores de (2) y (3) nos queda:

$$\frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{d'}$$

De donde se deduce que  $d' = f_3$

Es decir, sea cual sea el objetivo de la cámara fotográfica, si la enfocamos al infinito, la imagen se encontrará aproximadamente en su foco, lugar que ocupa el negativo fotográfico.

La imagen final será real y derecha con respecto al original.

La comprobación práctica de todo lo anterior se obtiene colocando la cámara fotográfica abierta y en exposición de tiempo a infinito, delante del microscopio, en la posición que hemos indicado (fig. 4).

Colocando un papel traslúcido o mejor un vidrio deslustrado en el lugar que normalmente ocuparía el negativo, se observa el objeto enfocado en el microscopio.

Si la cámara es del tipo «reflex», es suficiente mirar por el visor.

## ILUMINACION

El flujo luminoso  $\phi$  que llega a toda la superficie  $S'$  del negativo fotográfico, es el mismo que pasa por la microscópica superficie enfocada  $S$ , despreciando el perdido en las lentes.

Ello hace que la iluminación recibida  $E'$  sea mucho



Figura 4



Figura 5

menor que la incidente  $E$ . En efecto, las iluminaciones son:

$$E = \frac{\phi}{S} \quad E' = \frac{\phi}{S'}$$

Despejando  $\phi$  en ambas e igualando:

$$E S = E' S'$$

Finalmente:

$$E = E' \frac{S'}{S}$$

Si  $m$  es el aumento lateral queda:

$$E = E' \frac{1}{m^2}$$

«La iluminación recibida por el negativo fotográfico es inversamente proporcional al cuadrado del aumento lateral.»

Esto obliga a colocar delante del microscopio un foco luminoso de gran intensidad y dar tiempos adecuados de exposición a la cámara fotográfica. En las pruebas realizadas se iluminó con un proyector de cine (a veces con un proyector de diapositivas) y se obtuvieron buenos resultados con tiempos de exposición inferiores a 1/4 de segundo (ver fotografías).

Naturalmente, al colocar en el microscopio objetivos de menos aumentos, la relación  $S/S'$  es menor, y se precisa menos iluminación  $E$  por lo que hay que dar a la cámara tiempos de exposición más cortos.

#### DIAFRAGMA

El gran tamaño de la imagen intermedia  $y_1$  y la posición del diafragma de las cámaras fotográficas (entre la lente y el negativo), hace que éste recorte el tamaño de la imagen. Para conseguir un resultado satisfactorio hay que colocar el mayor diafragma posible. La única consecuencia sería que la profundidad de campo quedaría reducida al mínimo, pero esto no

nos afecta debido a que el objeto colocado en el microscopio ocupa prácticamente un plano (su grosor es despreciable).

#### RESUMEN

La realización práctica de todo lo anterior se resume en lo siguiente:

1.º Se colocan proyector, microscopio y cámara en la forma descrita (fig. 5) cuidando que la luz del proyector incida en el objeto y logrando que la cámara esté bien alineada con el microscopio.

2.º Con el diafragma de la cámara abierto al máximo se toman fotografías del mismo objeto con distintos tiempos de exposición y distintos aumentos del microscopio. Una vez revelado el negativo, se eligen los tiempos más adecuados en cada caso.

3.º Se toman fotografías colocando el enfoque de la cámara fotográfica a distintas distancias, para conseguir aquella a la que se obtiene más nitidez.

4.º Obtenidos la profundidad de enfoque y tiempos de exposición no hay ya ningún problema para obtener perfectas fotografías de un objeto microscópico.

## COLECCION "BREVIARIOS DE EDUCACION"



Ultimo titulo publicado:

Número 8. «TEORIA DEL JUEGO DRAMATICO»

Autores: Jorge Eines y Alfredo Mantovani

Páginas: 197

Precio: 300 ptas.

Venta en:

Planta baja del Ministerio de Educación. Alcalá, 34. Madrid-14.

Paseo del Prado, 28. Madrid-14.

Edificio del Servicio de Publicaciones. Ciudad Universitaria, s/n; teléfono 449 77 00.

Madrid-3.

# La energía solar: aproximación a las aulas

---

Por Antonio MESQUIDA SEGUI (\*), Francisco  
MAGAÑA CARMONA y Francisco Javier  
LAFALLA MENAC (\*\*)

---

## I. INTRODUCCION

En este trabajo se describe una experiencia cuya puesta en práctica surgió del intento de desarrollar una enseñanza activa y motivadora en la que la participación del alumno fuera parte fundamental.

Su realización constituyó, además, la respuesta positiva a la solicitud del alumnado en demanda del tratamiento de temas de actualidad «saliéndonos», en cierto modo, de los contenidos de los programas oficiales correspondientes a nuestra disciplina y de los esquemas tradicionales.

El tema monográfico elegido en nuestro primer ensayo fue el de la energía solar por considerarlo, además de extremadamente actual, estrechamente relacionado con fenómenos físico-químico-biológicos cuyo estudio compete a las disciplinas del área de Ciencias de la Naturaleza.

Con esta publicación no pretendemos mas que presentar «un método de trabajo», aplicable a otros campos, que, con medios relativamente escasos, permite el acercamiento del alumno a situaciones y fenómenos actuales y cotidianos que conforman el mundo en el que vive y del que será pieza importante en un futuro inmediato.

Al final del trabajo se incluye un breve glosario de términos relativos a la energía solar de frecuente uso.

## II. ESQUEMA OPERATIVO

La experiencia se llevó a cabo con alumnos de 2.º de B. U. P., desarrollándose en las siguientes etapas:

— Conjuntamente con los alumnos, se seleccionó el tema.

— Se fijó un tiempo razonable (un mes) para la consulta de bibliografía y redacción del trabajo.

— Se recogieron los trabajos individuales y se revisaron.

— Una vez devueltos los trabajos a sus autores, se dedicó parte de algunas sesiones de clase a la discusión comunitaria del tema a fin de extraer unas conclusiones generales.

— Se montaron sencillas experiencias que pusieron de manifiesto, a escala de laboratorio, algunas posibles aplicaciones de la energía solar.

## III. EXPERIENCIAS

Queremos señalar que las experiencias que presentamos no pretenden ser un repertorio exhaustivo ni excluyente; simplemente son el resultado obtenido con los medios a nuestro alcance renunciando, de forma expresa, al empleo de instrumental que no pueda encontrarse habitualmente en un Centro de Bachillerato, a excepción de algunos materiales auxiliares de fácil adquisición.

Dado que las experiencias se han realizado a escala reducida, en algunos casos ha sido preciso concentrar la radiación solar mediante una lupa (distancia focal + 15 cm,  $\varnothing$  100 mm).

Los mejores resultados se obtienen cuando los rayos solares inciden normalmente a las superficies receptoras y éstas han sido ennegrecidas (ahumándolas o recubriéndolas de pintura, según los casos).

### EXPERIENCIA I

#### «COMPOSICION» DE LA LUZ SOLAR

*Material:* espectroscopio.

*Procedimiento:* se observa, a través del espectroscopio, la luz solar.

*Resultado:* aparece una serie continua de colores que van desde el rojo al violeta. La luz del sol no es simple; la parte visible de la misma está compuesta por los colores del arco iris.

*NOTA:* La radiación solar está formada, principalmente, por rayos infrarrojos, luz visible y rayos ultravioleta.

### EXPERIENCIA II

#### ENERGIA DE LA RADIACION SOLAR

##### Experiencia II-a

*Material:* lupa, papel, cigarrillo, cerilla, soportes.

---

(\*) Catedrático de Física y Química del I. B. mixto, núm. 9 de Zaragoza.

(\*\*) Profesores agregados de Física y Química del I. B. «Domingo Miral», de Jaca.

*Procedimiento:* se enfocan los rayos solares sobre el objeto elegido (fig. 1).

*Resultado:* se observa la ignición y combustión del objeto irradiado. La energía transportada por la radiación solar puede desencadenar reacciones químicas.

### Experiencia II-b

*Material:* lupa, cartulina, soportes.

*Procedimiento:* se concentra la radiación solar sobre la cartulina ennegrecida, y se deja por espacio de media hora.

*Resultado:* con el paso del tiempo se va formando un trozo chamuscado que avanza a medida que el sol se desplaza (fig. 2).

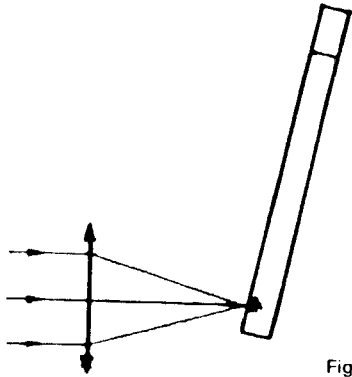


Figura 1

*APLICACION: Registrador de Campbell-Stokes.*

Mide el número de horas de insolación. Emplea una lente o esfera de vidrio para enfocar la luz solar directa sobre una tira de papel sensible al calor sobre la que se forma un trazo chamuscado o descolorido cuya longitud dividida por la longitud total del papel (correspondiente al orto y al ocaso) nos da el porcentaje de horas de sol en cada día.

*NOTA:* de la energía total transmitida por la radiación solar aproximadamente un 46 por 100 corresponde a la infrarroja, un 47 por 100 a la visible, y el resto a la ultravioleta.

### EXPERIENCIA III

#### RELE SOLAR

*Material:* lupa, lámina bimetálica, varilla de contacto, lámpara, conexiones eléctricas, soportes.

*Procedimiento:* se monta el dispositivo de la figura y se enfocan los rayos solares sobre el extremo libre del bimetálico, previamente ennegrecido (fig. 3).

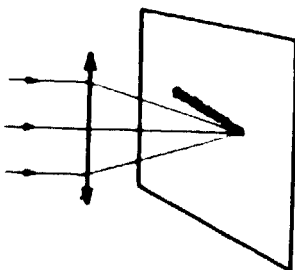


Figura 2

*Resultado:* el calentamiento de la lámina bimetálica provoca el curvamiento de la misma abriendo (o cerrando) el circuito eléctrico. Al interceptar los rayos solares y enfriarse la lámina, ésta vuelve a su posición primitiva cerrando (o abriendo) el circuito.

### EXPERIENCIA IV

#### CALEFACCION DE LIQUIDOS

*Material:* dos termómetros, dos tubos metálicos o de plástico (uno pintado de negro y el otro de blanco), placa colectorora ennegrecida, caja de paredes aislantes, lámina de plástico transparente, cuatro tapones, líquido a calentar, soportes. (Se ha ensayado con agua, utilizando tubos de plástico de 22 cm de longitud y 1 cm de diámetro interior. Como placa colectorora se ha empleado una lámina de material plástico para recubrimiento de suelos de 28 x 18 cm).

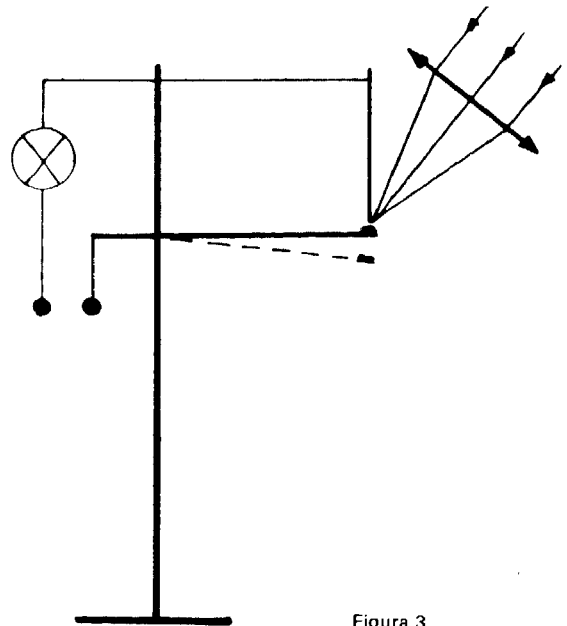


Figura 3

*Procedimiento:* se llenan los tubos con el líquido y se colocan sobre la placa colectorora montándose el dispositivo de la figura; una vez cubierto con la lámina transparente procurando un cierre hermético, se expone al sol.

*Resultado:* se produce un calentamiento gradual del líquido (por el efecto invernadero) alcanzándose temperaturas más altas (unos 10° C) en el tubo ennegrecido. Con tiempo de exposición al sol de unos 45 minutos se alcanzan temperaturas que sobrepasan a las iniciales en unos 55 °C (fig. 4).

*APLICACION: Calentadores solares de agua.*

Si no se requieren temperaturas muy altas, el dispositivo más usado es el panel colector plano. En esencia consta de una placa negra cubierta por una o varias láminas transparentes de vidrio o plástico, y aislada por la base y los lados de la caja así formada (figs. 5 y 5 bis).

La placa negra se calienta y calienta a su vez un fluido que circula por debajo, a través o por encima de la misma. Su superficie suele estar comprendida

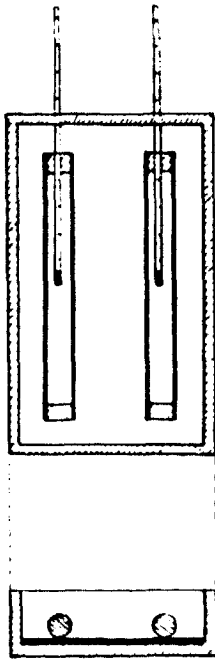


Figura 4

entre uno y dos metros cuadrados. El agua caliente, por convección natural, asciende a un depósito; se alcanzan temperaturas de funcionamiento de unos 65° C por encima de la temperatura ambiente.

#### EXPERIENCIA V

##### EVAPORACION DE LIQUIDOS

**Material:** dos embudos cónicos de vidrio de diferente tamaño (uno de ellos con la salida taponada), placa captadora provista de un pequeño reborde (se ha utilizado la tapadera de un bote de pintura), soporte de la placa (puede servir un triángulo de alambre), recipiente colector de líquidos, un sistema líquido, y soportes.

**Procedimiento:** se deposita el líquido en la placa y, una vez dispuesto el montaje de la figura, se expone al sol (entre el borde de la placa y la pared del embudo debe dejarse un espacio no inferior a 5 mm).

**Resultado:** se observa la formación de gotas en la pared interior del embudo superior que caen, por gravedad, al recipiente colector de líquidos.

**APLICACION:** «Destiladores» solares.

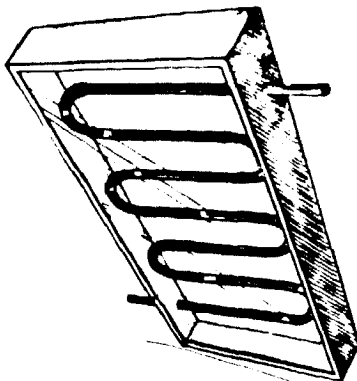


Figura 5

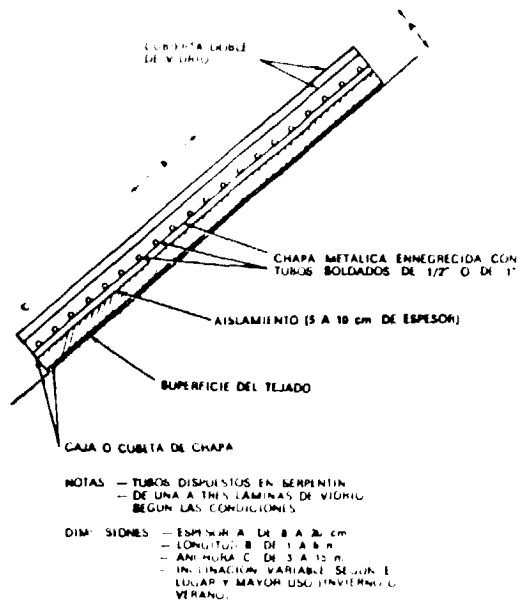


Figura 5 bis

Dispositivos empleados para la potabilización de aguas salobres o contaminadas y para desalinizar agua de mar.

#### EXPERIENCIA VI

##### EBULLICION DE SISTEMAS LIQUIDOS

##### Experiencia VI-a

**Material:** lupa, pequeño matraz de vidrio (diámetro aproximado 20 mm) ahumado, trocitos de porcelana porosa, soportes (fig. 6).

**Procedimiento:** depositado en el matraz el líquido (se ha ensayado con etanol) junto con la porcelana porosa se expone a la radiación solar de modo que el foco de la lente caiga en el interior del líquido.

**Resultado:** se produce la ebullición del líquido.

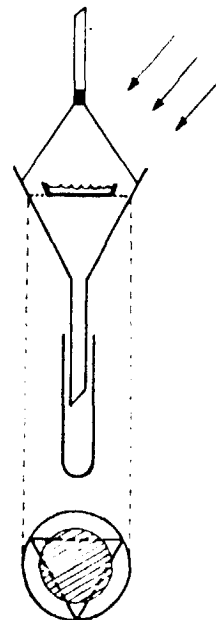


Figura 6



## Experiencia VI-b

### APLICACION I: Destilación de disoluciones.

**Material:** el de la experiencia anterior más un tubo acodado de vidrio y un pequeño colector de líquidos.

**Procedimiento:** se coloca en el matraz la disolución a destilar (se han empleado mezclas etanol-éter y etanol-acetona) y se acopla el tubo de vidrio. Se opera como en VI-a.

**Resultado:** se produce la ebullición de la disolución separándose, por destilación, el componente más volátil (fig. 7).

### APLICACION II: Central solar.

Mediante un sistema de heliostatos se concentra la energía solar sobre una caldera colocada en lo alto de una torre situada en el centro del campo de espejos. El vapor a alta presión que se produce se envía a una turbina para la obtención de energía eléctrica (fig. 8).

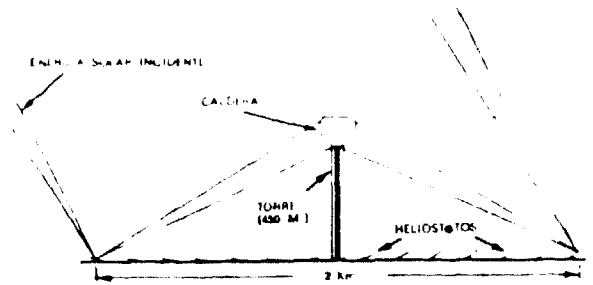


Figura 8

mayor densidad de radiación solar sobre el foco ocupado por un colector térmico o un convertidor fotovoltaico.

**Conversión dinámica.** Captación de radiación solar para calentar un fluido que produzca energía mecánica en un motor térmico.

**Conversión directa.** Conversión de luz solar directamente en energía eléctrica.

**Conversión térmica solar.** Conversión indirecta de la luz solar en electricidad basada en la absorción de la radiación solar sobre un colector, aprovechándose el calor captado para hacer funcionar una máquina térmica y generador de energía eléctrica convencionales.

**Efecto invernadero.** La luz visible del sol atraviesa el vidrio y es absorbida por los objetos que se hallen en el interior del «invernadero», los cuales ceden de nuevo ese calor en forma de radiación. Pero como

## EXPERIENCIA VII

### FUSION DE SOLIDOS

**Material:** lupa, espátula, sólido a fundir.

**Procedimiento:** se concentra la radiación solar sobre una pequeña cantidad de la sustancia sólida elegida depositada previamente en la espátula (se ha ensayado con p-dicloro benceno P. F. 53,5° C).

**Resultado:** se produce la fusión del sólido (fig. 9).

**APLICACION: Horno solar.**

Una serie de heliostatos dirigen la luz solar hacia un gran concentrador parabólico; la energía solar incidente es concentrada, al final, sobre una superficie de 0,3 m de diámetro en el centro del plano focal de la parábola. Se alcanzan temperaturas superiores a 3.500° C, y se emplea para la fusión de metales, materiales refractarios, e investigación (fig. 10).

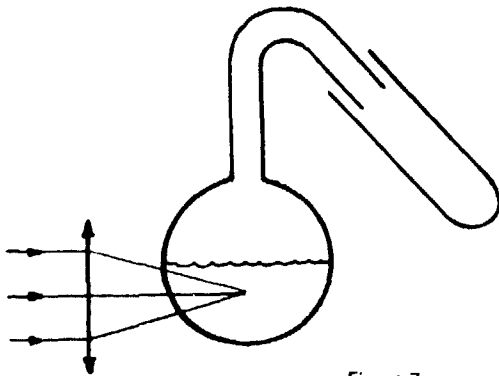


Figura 7

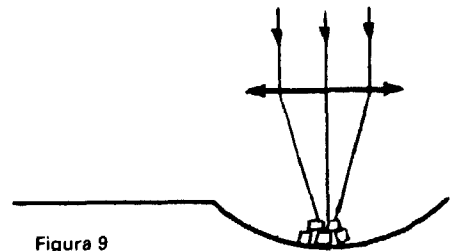


Figura 9

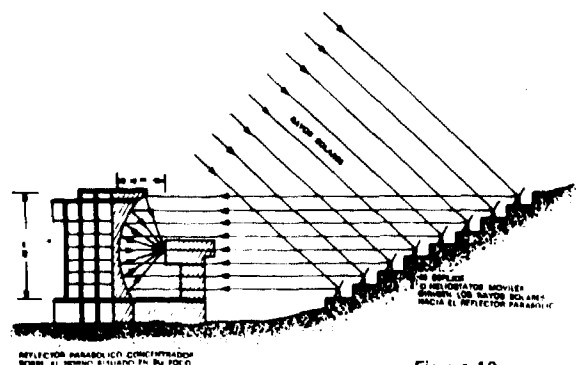


Figura 10

## IV. GLOSARIO

**Bioconversión.** Empleo de luz solar en el crecimiento de plantas con el fin de utilizarlas como fuente de energía.

**Células solares fotovoltaicas.** Dispositivos de materiales semiconductores que transforman directamente la luz solar en electricidad. El proceso de conversión es el llamado efecto fotovoltaico.

**Concentrador solar.** Dispositivo a base de lentes o espejos para obtener altas temperaturas o una

no están a la temperatura del sol no emiten luz visible, sino radiación infrarroja, que es mucho menos energética. Sólo una pequeña parte de la radiación infrarroja emitida logra traspasar el cristal; el resto se refleja en las paredes y va acumulándose en el interior hasta alcanzar un equilibrio. La temperatura de los objetos del interior sube mucho más que la de los del exterior.

**Granja solar.** Gran extensión de terreno parcialmente cubierto por una red de colectores solares con el fin de producir energía eléctrica en gran escala.

**Heliostato.** Espejo plano orientado automáticamente por un dispositivo electromecánico de forma que los rayos solares se reflejen en él hacia un punto determinado, fijo a pesar del movimiento diurno del sol.

**Insolación.** Luz solar, o radiación solar, incluida la ultravioleta, visible e infrarrojo. La insolación total comprende la luz solar directa y la difusa.

**Piranómetro.** Instrumento de medida de la intensidad de la luz solar. Generalmente, mide la intensidad de insolación (irradiancia) total (directa más difusa) en un amplio intervalo de longitudes de onda.

**Piroheliómetro.** Instrumento de medida de la intensidad de la luz solar (irradiancia) directa, excluyéndose con unas pantallas o diafragmas la componente de luz difusa por la atmósfera.

**Radiación difusa.** Luz solar dispersada por la at-

mósfera que llega a un punto desde cualquier dirección que no sea la de los rayos solares directos.

**Radiación directa.** Luz solar que incide en un punto sin haber sido dispersada.

**Recubrimiento selectivo.** Recubrimiento superficial para captadores solares con un gran coeficiente de absorción para la luz solar y una pequeña emisividad para la radiación infrarroja. Esta combinación especial de propiedades ópticas, al reducir considerablemente las pérdidas por irradiación infrarroja, mejora la eficiencia de captación y permite obtener temperaturas más elevadas.

**Reflectancia o reflectividad.** Razón entre la intensidad de la luz reflejada por una superficie y la que incide sobre la misma. Su valor depende de la longitud de onda.

**Sistemas de energía total.** Sistema autónomo capaz de cubrir todas las diversas necesidades de energía de un edificio, como calefacción, aire acondicionado y energía eléctrica.

## COLECCION LEGISLATIVA



INDICE ANALITICO 1940-1975  
(tomos I y II)

INDICE CRONOLOGICO 1 940-1975  
(tomo III)

Cuatro mil páginas en las que se sistematizan casi diez mil disposiciones sobre la materia educativa. Un instrumento útil de conocimiento en el profuso y complicado campo de las disposiciones relativas a la enseñanza durante el periodo 1940-1975.

Encuadrados en guaflex, color verde.  
Precio de los tres volúmenes: 6.000 ptas.

Edita:

SERVICIO DE PUBLICACIONES  
DEL MINISTERIO DE EDUCACION

Venta en:

Planta baja del Ministerio de Educación, Alcalá, 34. Madrid-14

Paseo del Prado, 28. Madrid-14.

Edificio del Servicio de Publicaciones. Ciudad Universitaria, s/n; teléfono 449 77 00, Madrid-3.

# Estudio crítico de algunas prácticas de Química aparecidas en la bibliografía

Por Juan B. SOLER LLOPIS (\*) y Agustín CANDEL ROSELL (\*\*)

## 1. La situación actual

El contenido del programa a impartir en la asignatura de Física y Química, en el actual plan de estudios del Bachillerato, ha dado lugar a diversas valoraciones; desde una consideración peyorativa, como mera yuxtaposición de temas, hasta considerarlo plenamente integrado en la corriente renovadora denominada «Ciencia integrada» (1).

La Química que se imparte en la enseñanza secundaria, por centrarnos en ella, está basada en la exposición de ideas harto tradicionales, sin presentar, siquiera, la novedad que para la Física ha supuesto la introducción, en tercero, de la Física Moderna, que permite ofrecer la imagen de la crisis de la Física Clásica.

Ante la necesidad de impartir una Química más acorde con los planteamientos y necesidades de los tiempos actuales, aunque sin olvidar los conceptos o temas «tradicionales», necesarios para una comprensión y asimilación de cualquier otro tema, puede surgir la tentación de modificar el programa con adiciones más o menos justificadas. ¿Es ello posible?

Si consideramos el curso segundo como una introducción, más cualitativa que cuantitativa, y observamos que el programa de tercero, previsto inicialmente para cinco horas semanales de clase, se tiene que impartir, sin modificación alguna, en cuatro horas semanales (2), sólo nos queda el curso de Química de C. O. U., por otra parte asignatura optativa, como un curso donde puede expresirse hasta el máximo las posibilidades que se ofrecen.

Las opciones que se presentan son varias, por una parte la ya citada ampliación del programa, cosa que no debe realizarse bajo ningún concepto; por otra parte, realizar una serie de prácticas o experiencias.

Siendo la Química una disciplina experimental, pensamos que debe optarse por el camino que conduce a unas experiencias interesantes por sí mismas y a los ojos de los alumnos, sólidamente basadas en conceptos teóricos asimilados. Y puesto que el tiempo ha demostrado «...que los alumnos pueden seguir instrucciones de tipo "recetario" realizando satisfactoriamente experimentos de laboratorio (...) sin que lleguen a una comprensión profunda de lo que

hacen» (3), se plantea la necesidad adicional de dotarlas de una coherencia interna, relacionada con la teoría, que evite caer en el «recetario», pero que no obligue, como contrapartida, a una ampliación de los contenidos del programa a impartir.

Vamos a centrarnos en las posibilidades que ofrece la Química Analítica (4).

## 2. Prácticas posibles

### 2.1. Separación de iones

Son, evidentemente, las más fáciles de realizar con los medios con que se cuenta en un laboratorio escolar.

Podemos encontrar ejemplos en diversos lugares:

— PARAIRA, M. y PAREJO, C.: «Química experimental». Ed. Vicens Vives. Barcelona, 1962, pág. 87.

Consiste en la separación de los iones  $Pb_3$ ,  $Ag_3$ , y  $Hg_{32}$  cuyos cloruros son insolubles en medio ácido. Contiene una serie de cuestiones, que obligan al alumno a recapacitar sobre lo que está haciendo en cada momento.

— PARRY, R. W.: «Química, fundamentos experimentales». Ed. Reverté. Barcelona, 1974, pág. 66.

Se estudia el efecto de agregar reactivos que contienen determinados aniones a soluciones que contienen cationes de los metales de la segunda columna de la tabla periódica (Mg, Ca, Sr y Ba). La experiencia comprende dos partes, en la primera se realiza un ensayo de solubilidad de los cationes, y en la segunda, el profesor entrega una solución desconocida que contiene uno solo de los cationes. Lleva también una serie de cuestiones sobre cálculo y resultados.

— EDITORIAL BRUÑO: «51 prácticas de Química». Madrid, 1970. págs. 59, 69, etc.

Son recetarios para reconocer aniones.

— CALATAYUD, M. L. et al.: «Trabajos prácticos de Química como pequeñas investigaciones». ICE Univ. de Valencia, 1980. Pág. 104.

Identificación de cationes en una solución acuosa. Se trabaja con  $Ag_3$ ,  $Cu_3$  y  $Pb_3$ . Libro muy interesante por cuanto supone de intento de renovación de las prácticas de laboratorio, dándoles una estructura de pequeñas investigaciones, favoreciendo y fomentando la iniciativa del alumno.

(\*) Agregado de Física y Química del I. B. «Pau Vila», de Sabadell.

(\*\*) Agregado de Física y Química del I. B. «José de Ribera», de Játiva.

## 2.2. Ensayos a la llama

Es una experiencia que puede hacerse desde unos conocimientos muy elementales.

— NUFFIELD: «Química, colección de experimentos». Ed. Reverté. Barcelona, 1976. Pág. 54.

Se utiliza para reconocer algunos elementos, en concreto Na, K, Ca, Sr, Ba, Pb, y Cu. Hay dos métodos alternativos, uno simple, trabajando con mechero Bunsen, y otro usando un espectroscopio simple, lo cual puede resultar interesante e instructivo.

— PARAIRA, M. y PAREJO, C.: op. cit. pág. 97.

Estudia Na, Li, Sr, Ca, Ba y K.

## 2.3. Espectroscopía

Este tipo de prácticas necesita un material más sofisticado. Se obtienen muy buenos resultados con un equipo de espectroscopía como el de la casa Sogeresa, que contiene seis tubos: He, N<sub>2</sub>, H, Ne, Ar y Hg.

Puede construirse un espectroscopio muy sencillo siguiendo las instrucciones ya citadas (Nuffield).

## 2.4. Cromatografía

Por ceñirnos a los libros ya citados, podemos encontrar prácticas de utilización de esta técnica en:

— NUFFIELD: op. cit. págs. 43 y ss.

Hay dos niveles, uno sencillo, como separación de extracto de hierbas por cromatografía sobre papel, separación de un extracto de hierbas utilizando tiza y separación de colorantes por cromatografía de capa fina. Y otro nivel más avanzado que comprende: separación de líquidos volátiles por cromatografía gaseosa y degradación de proteínas e identificación cromatográfica de los aminoácidos formados.

— PARAIRA, M. y PAREJO, C.: op. cit. pág. 101.

Cromatografía en papel y capa fina.

— CENTRO DE ENSEÑANZA DE LA UNIV. DE MARYLAND: Construcción de material didáctico para la enseñanza de las ciencias, II: Química. Ed. Guadalupe. Buenos Aires, 1977. Págs. 223 y ss.

El primer apartado, titulado «aparatos cromatográficos cualitativos», incluye dispositivos cromatográficos que emplean papel como medio estacionario y describe brevemente algunas técnicas destinadas a emplearlas para la identificación de los componentes de una mezcla. En el apartado segundo: «equipo cromatográfico cuantitativo», se describe un dispositivo

que permite separar los componentes de una mezcla y recuperar, si se quiere, los componentes individuales para nuevos experimentos o purificación.

## 2.5. Resinas de canje iónico

— PARRY et al.: op. cit. pág. 112.

Se utiliza una resina de intercambio de aniones. Se eligen los iones de tres metales: Fe, Co y Ni porque tienen colores muy característicos en solución que contenga iones cloruro.

## 3. El futuro

Todo parece apuntar hacia una currículum (5) diferente, puesto que la educación científica, por su propia naturaleza, es cambiante (6).

Se vislumbran dos líneas de actuación o tendencias, que no creemos que sean antagónicas. Por una parte, la necesidad de un «proyecto» dotado de enfoque interdisciplinar, y por otra, una enseñanza de tipo politécnico.

Pero cualquiera que sea el futuro, debe dar respuesta a una serie de preguntas: ¿cabe en una enseñanza de las ciencias un tiempo dedicado a la construcción de material científico?, ¿cabe la interdisciplinariedad que no sea la simple superación de la dicotomía Física-Química?, ¿cuándo debe comenzarse el estudio de la Física y Química?

De la respuesta que se dé a estas preguntas y otras muchas que están en la mente de todos, dependen muchas cosas.

## REFERENCIAS

1. IEPS: «Bachillerato y ciencia integrada I». Ed. Narcea. Madrid, 1975. Pág. 25.
2. «BOE», 18-4-75 y «BOE», 25-9-76.
3. PICKERING, W.: «Química Analítica Moderna». Ed. Reverté. Barcelona, pág. VI.
4. En la Conferencia Internacional sobre la enseñanza de la Química, celebrada en Dublín en 1979, se considera interesante la vuelta a las marchas analíticas. Ver el artículo de V. Esteve et al. en «Revista de Bachillerato», n.º 14, págs. 86-9.
5. FERNÁNDEZ URÍA, E.: «Estructura y didáctica de las ciencias». INCIE. Madrid, 1979. Págs. 253 y ss.  
GOZZER, G. et al.: «Bases para organizar el currículum de ciencias». Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1974.
6. FERNÁNDEZ URÍA, E.: op. cit. pág. 331.

# DIDACTICA

## Consideraciones didácticas sobre la Dinámica:

### I. Principios de la Dinámica

#### INDICE:

1. Principios de la mecánica o principios de Newton.
2. Punto material.
3. Primer principio de la Dinámica.
4. Segundo principio de la Dinámica.
5. Tercer principio de la Dinámica.

#### 1. Principios de la mecánica o principios de Newton

Generalmente se comienza el estudio de la dinámica enunciando los tres «Principios de Newton» o principios de la Dinámica. Principios que el alumno más o menos acepta, pero como su nombre indica son punto de partida y no admiten demostración. ¿Está la experiencia del alumno en consonancia con estos principios?, ¿podrá el alumno asimilarlos fácilmente o entrarán estos principios en contradicción con su representación del universo? Si los aprende «porque sí» no sólo no los asimilará sino que considerará a la Física como un conjunto de definiciones y reglas para resolver problemas pero que permanecen extraños a su experiencia y realmente incomprensibles. Algunas de las aversiones de los alumnos a la Física y del desenfoco en el estudio de esta asignatura arranca de la mala asimilación de estos principios y de la confusión respecto de la clase de conocimiento a que se refieren.

Enfocándolo correctamente, este tema puede enseñar al alumno qué es la Física, cómo procede en una de sus formas el método científico. Ante un universo excesivamente complejo, el físico elige sólo algunas de las características de este mundo que observa, acotando el objeto de su estudio. Comienza con modelos muy simplificados de la realidad para ir progresivamente acercándose a los cuerpos reales, aumentando paulatinamente el número de aspectos a tener en cuenta y que inicialmente no consideró. Las afirmaciones que hace están matizadas por la aproximación de la realidad que considera. El alumno puede constatar cómo el científico va conociendo mejor la realidad que estudia en extensión y en profundidad. Las nuevas teorías explican, de una manera más completa y con un menor número de supuestos, un mayor número de fenómenos y predecirán

Por Christian WAGNER (\*)

algunos todavía no observados. Pero éste es un camino sin límites, aún no se acaba de responder a viejas preguntas cuando surgen otras nuevas. El científico no conoce la verdad sino que la busca. No posee una explicación para todos los fenómenos del mundo que le rodea sino que comienza a conocer algunos, o al menos, a concretar las dificultades para su conocimiento. La Ciencia no es algo que ya está hecho, sino algo que continuamente se está haciendo. Ha habido momentos y personas que han potenciado excepcionalmente el avance de la Física, pero este avance se ha apoyado en trabajos anteriores y se consolidará con estudios posteriores.

Newton no emplea el término cuerpo en su sentido unívoco y preciso, pudiendo ser interpretado a lo largo de «El Principia» de una manera similar a nuestra «masa puntual», u ocupando regiones finitas del espacio. Tampoco sabemos con certeza cuándo considera sólo la inercia lineal o cuándo considera también la rotatoria; no indicando el método para su medida (1). Euler observaría más tarde que los principios de la Mecánica newtoniana son sólo aplicables a cuerpos infinitamente pequeños (masas concentradas en puntos aislados) o a los centros de masa de cuerpos finitos. «El Principia» comienza con un conjunto de definiciones como la de masa, espacio y tiempo (2) pero el concepto de fuerza no se define expresamente y no parece adecuado, como veremos más tarde, el considerar el segundo principio como una definición de fuerza.

En un libro de texto leemos:

«  $\vec{F} = d\vec{p}/dt$ . La ecuación anterior equivale a afirmar: —La fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la rapidez con que varía su cantidad de movimiento—, lo que constituye un principio fundamental de la dinámica, por una parte, y, por otra, equivale a una definición del concepto de fuerza, elaborado mu-

(\*) Agregado de Física y Química del I. B. «Columela», de Cádiz.

cho antes del establecimiento de la Dinámica newtoniana. (3).

También es usual definir la segunda ley de Newton como  $F = m \cdot a$ , o incluso, como  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ , pero ninguna de estas expresiones aparecen en «El Principia», se trata realmente de reelaboraciones posteriores. En 1736 publica Euler su Mecánica Analítica, en la que los principios de Newton son reenunciados de manera más precisa. Define la masa puntual, estudia explícitamente la aceleración como una magnitud cinemática definida en el movimiento sobre una curva cualquiera, y aplica el concepto de vector a magnitudes cinemáticas. En 1747 enuncia las ecuaciones newtonianas para sistemas discretos y en 1750 el principio general de la cantidad de movimiento o «Nuevo Principio de la Mecánica» (4).

Son muchos los libros de texto que enuncian como principios de la Mecánica de Newton, sus reelaboraciones posteriores. La elección del texto anterior se debe a que afirma que el concepto de fuerza fue elaborado mucho antes de que se estableciera la mecánica newtoniana. Dijimos anteriormente que el concepto de fuerza no estaba definido explícitamente en «El Principia» empleándose seguramente con su sentido intuitivo de esfuerzo. Debemos advertir que bajo un mismo nombre podemos referirnos a concepciones muy diversas. Para muchos de los predecesores de Newton, la fuerza era una más de las viejas cualidades o tendencias, interpretadas en sentido metafísico. Las preguntas hechas a la naturaleza eran diferentes y, por lo tanto, diferirán también las respuestas. No les interesaba un estudio preciso de los fenómenos, sino el conocimiento de las esencias.

Como las leyes y definiciones de la Física que estudiamos fueron enunciadas por personas muy distintas a nosotros en el tiempo, se nos plantea una pregunta: ¿Cuándo estudiamos y enunciamos sus leyes, entendemos lo mismo que ellos? Creemos que la respuesta ha de ser negativa, porque su universo conceptual y el nuestro son diferentes. Pudiera pensarse que desde Newton a nosotros, en el marco de la mecánica clásica, sólo se ha definido con más precisión los principios y se han aplicado a casos más complicados. La evolución de la Ciencia sería simplemente acumulativa y lineal. Hoy sabemos que la mecánica clásica no es aplicable en el caso de grandes velocidades (velocidades del orden de la velocidad de la luz), ni en el marco de la física atómica. Pero afirmamos que para velocidades muy pequeñas respecto a la de la luz, la mecánica relativista de Einstein se reduce a la mecánica clásica y que las leyes de la mecánica cuántica deben reducirse a las de la mecánica clásica cuando  $h \rightarrow 0$ . Esto es válido en un sentido formal. «El teorema de Ehrenfest da la ley de evolución en el tiempo, de los valores medios de las coordenadas y de los momentos conjugados de un sistema cuántico. Estipula que las ecuaciones de evolución de estos valores medios son formalmente idénticas a las ecuaciones de Hamilton de la mecánica clásica, salvo que las magnitudes que figuran en cada miembro de las ecuaciones clásicas deben sustituirse por sus valores medios» (5). Si en las expresiones relativistas de masa, momento y energía, consideramos que  $\sqrt{1 - v^2/c^2} \approx 1$ , obtenemos las expresiones de dichas magnitudes correspondientes a la mecánica clásica. Los conceptos de masa, espacio y tiempo definidos en la teoría relativista o en el marco de la física cuántica difieren mucho de la comprensión en el marco de la física clásica o de las definiciones newtonianas. La masa newtoniana per-

manece invariable, mientras que en la teoría relativista la masa depende del estado de movimiento y puede ser considerada como una forma de energía. Cuando hablamos de la masa del electrón o del fotón no la entendemos en el sentido newtoniano, aunque se emplee en un sentido analógico. Lo mismo podríamos decir de los conceptos de espacio y tiempo, trayectoria y dimensiones, referidos al movimiento de un electrón o de un fotón (6).

Estas reflexiones no significan que debamos presentar estos problemas a nuestros alumnos, aunque el profesor debe ser consciente de ellos, de manera que no presente cómo evidente lo que es sólo una opción entre otras, o como absoluto y definitivo, lo que no lo es. Sería erróneo, presentar la mecánica clásica como una descripción completa de la realidad, dando un valor absoluto a sus conceptos y presupuestos.

La finalidad de un curso de física no puede reducirse a que el alumno conozca una serie de teorías y de que pueda aplicarlas a resolver unos cuantos problemas concretos. En este aprendizaje el alumno debe ir comprendiendo qué es la Física, como evoluciona, cómo trabaja el científico y qué imagen nos ofrece del mundo que nos rodea. Puede pensarse que ha sido una introducción excesivamente larga, pero el tema que nos ocupa presenta una ocasión propicia para conseguir los objetivos considerados.

Comenzaremos el estudio de los principios fundamentales de la dinámica analizando el concepto de punto material, para estudiar seguidamente las formas más precisas y didácticas de enunciarlos. En una segunda parte denominada «Fuerzas y fuerzas de inercia», analizaremos la invarianza de las leyes fundamentales de la Dinámica ante diversas transformaciones del sistema de referencia, para estudiar luego en este contexto las fuerzas de inercia. Concluiremos finalmente con unas reflexiones sobre el concepto de fuerza y su introducción.

## 2. Punto material

El lugar adecuado para introducir el concepto de punto material es al comenzar el estudio del movimiento de los cuerpos, es decir, al principio de la cinemática. Si queremos estudiar el movimiento de un cuerpo, deberemos fijar su posición en el espacio. Si el cuerpo no se deforma, su posición queda unívocamente determinada, definiendo la posición de tres puntos no alineados del cuerpo. Si queremos estudiar el movimiento de un automóvil, por ejemplo, ¿será suficiente y necesario considerar el movimiento de tres puntos no alineados del automóvil? Las respuestas de los alumnos a la pregunta anterior, nos marcarán el camino a seguir. No debemos tener prisa e insistir hasta que los alumnos en su totalidad vayan captando el problema e interesándose por él.

Una primera etapa será hacerles ver que las respuestas a la pregunta anterior están condicionadas por los aspectos del movimiento del automóvil que nos interese conocer. Si queremos calcular cuánto tarda el automóvil en recorrer un trayecto determinado, su posición en un instante dado o su velocidad o aceleración, será suficiente considerar un punto del automóvil. Podemos asimilar el automóvil a un punto y estudiar el movimiento de ese punto. Esto simplifica el estudio pero nos hace perder información. Si el automóvil frena bruscamente y vuelca, no podremos estudiar este movimiento si lo consideramos como un punto. En un punto no podemos distinguir

partes. Si las ruedas delanteras, por ejemplo, se han quedado fijas al suelo, la parte trasera del automóvil se levanta. El parachoques delantero no se moverá mientras que el trasero sí. El parachoques delantero podría ver pasar por encima al trasero, quedando delante de él. En este caso no podemos considerar el automóvil como un punto, si queremos estudiar el movimiento relativo de sus diferentes partes. Al considerar un cuerpo como puntual, renunciamos a distinguir entre sus diferentes partes.

Al estudiar el movimiento de una esfera que gira alrededor de uno de sus diámetros tampoco es adecuado considerarla como un punto material. Un observador que la mirase desde fuera vería que los puntos del eje permanecen en reposo, mientras que los demás puntos de la esfera se moverían con diferentes velocidades. Un cuerpo, sólo debe ser considerado como un punto, cuando no sea objeto de estudio el movimiento de una parte respecto de la otra, o la diferente contribución a un fenómeno de las distintas partes de un cuerpo. Es muy importante que nuestros alumnos se den cuenta de que el que un cuerpo pueda ser considerado como puntual no es sólo una cuestión de tamaño. Para ello podemos preguntarles en qué circunstancias esta aproximación es adecuada, en el estudio de diversos movimientos de cuerpos grandes y pequeños como pueden ser la tierra y una peonza.

El punto material, también llamado partícula, puede definirse como un punto geométrico que además de por su posición está caracterizado por otras propiedades significativas para su estudio, como pueden ser la masa, cantidad de movimiento, carga eléctrica... Propiedades como el momento de inercia, compresibilidad, densidad..., que hacen referencia a extensión y volumen, o a la diferente contribución o comportamiento de las distintas partes del cuerpo, no deben atribuirse al punto material. Si el punto geométrico además de por su posición y magnitudes cinemáticas está caracterizado por su masa, suele llamarse masa puntual, y si lo está por su carga eléctrica, carga puntual. Pero generalmente los conceptos de masa puntual, punto material y partícula se utilizan indistintamente.

La mecánica comienza estudiando el movimiento de los cuerpos más sencillos, es decir, aquellos que pueden ser considerados como reducidos a un punto, a un «punto material». Posteriormente considerará a los cuerpos como formados por un gran número de estos puntos materiales. Si la distancia entre cualquier par de estos puntos materiales permanece constante, hablamos de «sólido rígido». El «sólido rígido» es otro modelo, otra aproximación de los cuerpos reales que nos permite adquirir más información de sus movimientos que si los consideramos como puntos materiales. Este aumento de información tiene como contrapartida un aumento en la complejidad del problema, y de los cálculos. El modelo del sólido rígido puede ser adecuado para estudiar la esfera que gira o el coche que vuelca. Si la esfera que gira está hecha de arcilla húmeda, o el automóvil al volcar se golpea bruscamente, pueden deformarse durante su movimiento. No podremos, por lo tanto, considerar esta esfera o el automóvil como un sólido rígido si queremos dar cuenta de estas deformaciones. El físico necesita considerar nuevas propiedades de los cuerpos, crear nuevos modelos para proceder mediante aproximaciones sucesivas al estudio de estas deformaciones, al estudio de un cuerpo que se deforma al moverse.

En su estudio de los fenómenos, el físico comienza

considerando solamente las propiedades de los cuerpos que considera relevantes para su estudio. Si lo que estudia es el movimiento, no le interesará generalmente ni el color ni el sabor, ni muchas más de sus propiedades. Retendrá, al menos en principio, sólo las diferentes posiciones del cuerpo y el instante en que está en ellas. Pero describir las sucesivas posiciones de un cuerpo es ya un trabajo arduo y prácticamente imposible si no procedemos de una manera sistemática. El físico crea conceptos teóricos, tales como punto material, sólido rígido, gas ideal... que no se refieren a objetos reales. Son conceptos que podemos definir con la precisión deseada, pero que sólo de una manera simplificada describen a los cuerpos reales, son modelos simplificados de éstos. No hay ningún cuerpo que sea indeformable en cualquier circunstancia y mucho menos que pueda asimilarse a un punto, pero en determinadas circunstancias, para determinados estudios, sí pueden ser considerados circunstancias, para determinados estudios, sí pueden ser considerados como puntos materiales o como sólidos rígidos. Estos modelos tienen significado físico porque representan de manera simplificada e idealizada los cuerpos reales que son el objeto de la física (7). Este es en esquema el camino seguido por el físico para estudiar el movimiento de los cuerpos reales. Por esto, la dinámica comenzará con la dinámica del cuerpo más simple, el punto material. Y es referido a puntos materiales como hemos de entender los principios fundamentales de la dinámica, enunciados inicialmente por Newton.

### 3. Primer principio de la Dinámica

Cuando se suelta la correa que une el caballo con el carro o el bloque que arrastra sobre un plano horizontal, el carro o el bloque se paran, dejan de moverse. Lo mismo ocurrirá en un automóvil si paramos el motor o desembragamos. Puede ser que el carro o el automóvil se mueven durante un breve tiempo, pero acaban parándose. Nuestra explicación intuitiva será similar a la de Aristóteles. Un aristotélico diría que el estado natural del carro es el reposo y que el caballo ha de ejercer sobre él una fuerza para moverlo, aunque su movimiento sea rectilíneo y uniforme. Si no hubiéramos estudiado física diríamos sencillamente que para que un cuerpo se mueva hay que empujarlo o tirar de él. Cuando preguntamos a nuestros alumnos por qué se para el carro al desgancharse, más de uno responderá que es debido a la fuerza de rozamiento que actúa sobre el carro. Ellos ya han oído hablar de rozamiento y saben que es la respuesta adecuada, pero muchos siguen pensando aristotélicamente. Esto se pone de manifiesto haciéndole la pregunta fuera del contexto escolar clásico o analizando las respuestas dadas a algunos problemas o cuestiones. Esta dicotomía puede ser la causa de que el alumno no llegue a asimilar estos principios aunque los repita con todo detalle (8).

El primer axioma o ley del movimiento de Newton dice:

«Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que sea obligado a cambiar dicho estado por fuerzas aplicadas sobre el mismo» (9, 10). Esta ley que es un axioma o postulado no es evidente ni demostrable y puede aparentemente contradecir la experiencia cotidiana. No puede ser considerado como una ley fenomenológica cuyo enunciado, por así decirlo, resuma

los resultados de una serie de observaciones y experimentos. Debemos considerarla como una extrapolación fuera del campo de nuestra experiencia, el caso ideal en el que el cuerpo objeto de nuestro estudio esté libre de la influencia de los demás cuerpos, es decir, no interrelaciona con ningún otro cuerpo, ni siquiera con aquél sobre el que se apoya. A esta situación podemos aproximarnos cuando estudiamos el movimiento de un cuerpo sobre un carril o una superficie horizontal, disminuyendo el rozamiento entre el cuerpo que se mueve y la superficie o el carril mediante superficies muy pulimentadas, aire a presión u otros dispositivos. Este principio explica algunos fenómenos que observamos en la vida cotidiana. Supongamos que en el pasillo del autobús en el que viajamos hay varios objetos pequeños como un carrito y una pelota de ping-pong. Cuando el autobús, que se movía con movimiento rectilíneo y uniforme, frena bruscamente, estos objetos se mueven hacia adelante respecto del autobús. Si en el pasillo del autobús colocamos un carril sin rozamiento y sobre él un móvil en reposo respecto al carril, para una persona que lo observe desde la acera, este móvil se moverá con el mismo movimiento rectilíneo y uniforme que el autobús. Cuando el autobús frena bruscamente, el móvil no modifica su movimiento según el observador de la acera. Análogamente, cuando el autobús acelera bruscamente los objetos del pasillo se desplazan hacia atrás, respecto del autobús. Si viajamos en automóvil y frenamos bruscamente tendemos a salir despedidos por el parabrisas, de ahí la necesidad de los cinturones de seguridad. Si el automóvil arranca bruscamente, nos apretamos contra el respaldo del asiento. Hay que tener en cuenta que ésta sería la explicación dada por quien se encuentre fuera del vehículo que estamos considerando. Sobre esto volveremos, en la segunda parte de este trabajo, al hablar de la invarianza de los principios de Newton.

Galileo había enunciado y aplicado este principio refiriéndose al movimiento local sobre la superficie de la tierra. En sus chispeantes diálogos publicados en «Diálogos sobre dos grandes sistemas del mundo» (1632) y en «El tercer día», de «Dos nuevas ciencias» (1638) muestra la consistencia de este principio. Galileo imagina una esfera sobre una superficie muy pulimentada y lisa, pero que no fuese horizontal, un plano inclinado. Si se soltase la esfera, rodaría indefinidamente hacia abajo, si se eliminase la resistencia del aire y los obstáculos. Para mantenerla en reposo sería necesario ejercer sobre ella una fuerza. También haría falta ejercer una fuerza para que la bola rodara hacia arriba del plano. Si la superficie no tuviese ninguna inclinación, es decir, fuese horizontal, la esfera no se movería en absoluto, si en principio estuviera en reposo en el plano; pero si se le diera un impulso inicial en una dirección particular, no habría razón alguna para que acelerara o retardara su movimiento. Por tanto, si este espacio fuese indefinido, el movimiento sobre él no tendría fin, sería perpetuo. Posteriormente considera que después de caer por un plano inclinado hacia abajo, la esfera sube por otro plano inclinado casi hasta la misma altura, donde la esfera se para. En el plano descendente hay una causa de aceleración mientras que en el ascendente la hay de retardo. Si suprimimos la segunda causa, el plano ascendente, la esfera después de caer por el plano inclinado continuaría moviéndose indefinidamente por el plano horizontal (11).

En algunos de los libros de texto para el Bachillerato y el Curso de Orientación Universitaria, este

principio se enuncia de una forma posiblemente más comprensible para el alumno:

«Ningún cuerpo es apto para modificar por sí mismo su estado de reposo o de movimiento.»

«Una partícula libre se mueve siempre con velocidad constante o (lo que es lo mismo) sin aceleración.»

«Si no existe ninguna fuerza externa que actúa sobre un cuerpo (partícula) éste permanece en reposo o se mueve con una velocidad constante.»

El tercer enunciado es similar al segundo, sólo se ha hecho explícito lo que se entiende por libre. Estos enunciados son correctos aunque se apliquen a cuerpos extensos. En cambio, algunos enunciados de otros textos no son correctos o, al menos, son pedagógicamente inadecuados:

«Todo cuerpo material persiste en su estado de reposo o movimiento uniforme (no acelerado) en línea recta, solamente si no actúa sobre él una fuerza resultante (no equilibrada).»

Esta definición no es correcta a menos que se sobreentienda punto material en lugar de cuerpo material. Un sistema de fuerzas de resultante nula puede tener momento resultante no nulo que producirá un movimiento de rotación que es un movimiento acelerado. Este enunciado es más complejo que el de Newton pues supone además el principio de superposición para las fuerzas, que Newton incluyó como un corolario. La formulación de este enunciado, por tratarse de uno de los principios o leyes básicas de la mecánica, ha de ser lo más sencilla y simple posible.

En otros textos se altera el orden, enunciándose el primer principio después del segundo, considerándolo como un caso particular ( $\vec{F}=0$ ) del segundo principio. El contenido del primer principio es tan significativo, aunque sus afirmaciones sólo sean cualitativas, que no están tan claramente incluido en el del segundo principio. Metodológicamente esa presentación tiene el inconveniente de darle excesiva importancia a las fórmulas, pudiendo inducir a considerar los principios de Newton más como herramientas para resolver problemas que un primer paso para la comprensión y estudio de la naturaleza. Vamos a analizar ahora el contenido de este primer principio:

1.º Este principio establece que desde el punto de vista dinámico el estado de reposo y el de movimiento rectilíneo y uniforme son estados equivalentes. Los estados de reposo y de movimiento rectilíneo y uniforme son considerados como los estados de equilibrio del punto material. Estados en los que permanecerán indefinidamente si no se les perturba, es decir, si no actúa sobre ellos una fuerza no equilibrada. Lo que hoy llamamos estado de equilibrio corresponde a lo que Aristóteles y la filosofía clásica llamaban «estado natural».

2.º Este principio informa también sobre una característica de cualquier cuerpo, su inercia u oposición al cambio de su estado de reposo-movimiento. «Inercia es la propiedad de todo cuerpo que tiende a oponerse a toda variación en su estado de reposo o movimiento.»

3.º Este primer principio de la dinámica no nos informa ni del origen de las fuerzas ni de su valor, sólo acerca de su existencia. Puede ser considerado como una definición cualitativa de fuerza o un criterio que nos permite conocer la existencia de una fuerza. Sobre los cuerpos reales, aún supuestos puntuales, suele actuar más de una fuerza. Para aplicar este principio en el sentido anterior, deberemos con-



siderar la fuerza resultante que actúa sobre el punto material, pues al existir más de una fuerza éstas pueden contrarrestarse. Es decir, deberemos aplicar conjuntamente el primer principio y el corolario o principio de superposición: «Un cuerpo (punto material) sobre el que actúan dos fuerzas simultáneamente, describirá la diagonal de un paralelogramo en el mismo tiempo que describiría los lados del mismo mediante la acción de dichas fuerzas por separado» (10), enunciado por Newton en «El Principia». Si consideramos la fuerza como una magnitud vectorial podemos reenunciar este corolario diciendo: Si sobre un punto material actúan simultáneamente varias fuerzas, el efecto será el mismo que si actúa sobre este punto material una fuerza igual a la suma de las fuerzas actuantes. Aplicando este corolario conjuntamente con el primer principio podemos saber si sobre un punto material se ejerce una fuerza no equilibrada, es decir, si la suma de todas las fuerzas, incluidas las de rozamiento, es nula.

#### 4. Segundo principio de la Dinámica

Newton enunció este segundo principio, también conocido como Ley fundamental de la Dinámica, diciendo:

«La variación del movimiento es proporcional a la fuerza motriz aplicada y ocurre sobre la línea recta según la que se aplica dicha fuerza» (9, 10).

Comencemos recordando que esta ley es sólo aplicable a cuerpos infinitamente pequeños (puntos materiales) o a los centros de masa de cuerpos finitos. No es raro encontrarse con textos que, al igual que Newton, enuncian este principio refiriéndose sencillamente a cuerpos, con lo que resultan igualmente imprecisos. Si en lugar de fuerza, decimos, fuerza resultante, presuponemos además de este segundo principio, el principio de superposición, perdiendo sencillez el enunciado, como comentábamos a propósito del primer principio. Otros enunciados son más restrictivos que el de Newton:

«Bajo la acción de una fuerza constante, un punto material adquiere un movimiento uniformemente acelerado en la dirección y sentido de la fuerza». Este enunciado sólo es aplicable a una fuerza constante, mientras que el segundo principio de Newton nos permite conocer el efecto instantáneo de cualquier fuerza.

Este segundo principio se expresa en lenguaje matemático como  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Aunque esta expresión parece deducirse de manera inmediata del segundo principio, entre los principios de Newton y esta expresión vectorial debida a Euler distan 65 años. Este principio también podemos enunciarlo:

«Las fuerzas son proporcionales a las aceleraciones, y en el mismo sentido, si actúan sobre el mismo punto material.»

«Aplicadas a un mismo punto material, fuerzas distintas producen aceleraciones proporcionales a las fuerzas y en el mismo sentido.»

«La aceleración de un punto material es proporcional a la fuerza que la produce y en el mismo sentido de ésta.»

Intencionadamente no hemos incluido en los anteriores enunciados «en la misma dirección», pues al tratarse de magnitudes vectoriales su proporcionalidad implica que son vectores paralelos (misma direc-

ción), aunque el sentido puede ser el opuesto si la constante de proporcionalidad es negativa.

El segundo principio afirma que al aplicar una fuerza a un punto material, la aceleración producida depende de una característica del cuerpo que llamamos masa inercial. Cuanto mayor sea el valor de esta constante que hemos llamado masa inercial, menor será la aceleración producida por una misma fuerza. Vamos a caracterizar cuantitativamente a los cuerpos definiendo una magnitud escalar que llamamos masa inercial y que describe cuantitativamente la oposición del cuerpo a variar su estado de movimiento, es decir, su velocidad. Si se consideran cuerpos no puntuales, su inercia no está completamente determinada por la masa inercial (12). Cuando estudiamos la Dinámica de rotación de cuerpos sencillos hemos de introducir otras magnitudes que describan la inercia del cuerpo en la rotación y que llamamos momentos de inercia. En general, la inercia de un cuerpo a la variación de su estado de movimiento vendrá definida por su tensor de inercia.

El primer principio aplicado conjuntamente con el principio de superposición nos informaba de la existencia de una fuerza no equilibrada. El segundo principio, aplicado conjuntamente con el de superposición, nos permite conocer la fuerza no equilibrada que se aplica a una masa puntual, por la aceleración que le produce. Newton no dio una definición explícita de fuerza. Este segundo principio, sin embargo, nos permite definir la fuerza como una magnitud derivada, si consideramos la masa como una magnitud fundamental; definiéndose la unidad de fuerza en función de la de masa y de la de aceleración.

Los principios de Newton suponen que la masa permanece constante. Euler en sus primeros principios publicados en 1750 y posteriormente en una memoria publicada en 1776 enunció sus leyes de la Dinámica, aplicables a todas las partes de un cuerpo arbitrario, puntual o no, rígido o deformable: «La fuerza total que actúa sobre el cuerpo es igual a la variación temporal de la cantidad de movimiento total.» Este enunciado bajo el título de segundo principio de la Dinámica o ley fundamental de la Dinámica es el que enuncian muchos textos, sobre todo los correspondientes al curso de orientación universitaria. Podríamos escribirlo:

«La variación con el tiempo de la cantidad de movimiento es igual a la fuerza aplicada», o en lenguaje matemático  $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ .

Este enunciado constituye una generalización del segundo principio de la mecánica enunciado por Newton (considerando las precisiones anteriores). No es otra forma de enunciar el segundo principio como hemos hecho en este apartado, sino un nuevo principio más general que el de Newton, aplicable, por ejemplo, a cuerpos de masa variable. Aplicando este nuevo principio al estudio de una masa puntual, o al centro de masa de un cuerpo extenso, y suponiendo que la masa permanece constante, obtenemos una formulación equivalente al segundo principio de Newton. Debido a la mayor abstracción y contenido de este enunciado es preferible que el alumno haya asimilado previamente el segundo principio de la mecánica en la formulación newtoniana. Posteriormente se le presentará este enunciado como un nuevo principio que en cierto sentido contiene el segundo principio de Newton como caso particular. Conviene insistir en la necesidad de presentarlo como un nuevo principio y, por lo tanto, no demostrable ni necesariamente evidente.

## 5. Tercer principio de la Dinámica

Newton enunció este tercer principio o principio de acción y reacción:

«A toda acción le corresponde siempre una reacción igual y contraria; o bien, las acciones mutuas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias» (9) (10). O refiriéndonos a un punto material: Las fuerzas que dos puntos materiales ejercen uno sobre otro son siempre de la misma magnitud y dirección, pero de sentidos opuestos.

Este principio será de gran interés al pasar del estudio de un punto material al de un sistema de puntos materiales como en el caso particular del sólido rígido. El tercer principio nos informa sobre la naturaleza de las fuerzas o interacciones entre cuerpos, y es que estas interacciones son siempre mutuas, se manifiestan por pares. Si tenemos una partícula A en movimiento y ninguna partícula interacciona con ella, su movimiento será rectilíneo y uniforme. Pero si en su trayectoria encuentra a otra partícula B, ésta interacciona con nuestra partícula A y su movimiento deja de ser rectilíneo y uniforme. Decimos que la partícula B ha actuado sobre la partícula A, o que ha ejercido sobre ella una fuerza F que suele llamarse acción. Pero si la partícula B, supuesta libre, estuviese en reposo se comenzará a mover, pues la partícula A también ha actuado sobre la B. Si la partícula B en lugar de en reposo, se moviese, también este movimiento se modificaría. Del estudio del movimiento de ambas partículas podría deducirse la igualdad de la intensidad de las fuerzas. Podemos concluir que si la partícula B actúa sobre la A (acción) la partícula A actúa sobre la B (reacción) con una fuerza de igual intensidad y dirección, pero de sentido contrario.

A cada acción corresponde una reacción y cada una obedece separadamente al segundo principio de la Dinámica. Estas fuerzas se aplican sobre puntos materiales distintos, por lo tanto no se contrarrestan. Este es el punto que puede presentar dificultades en la comprensión de este principio, el darse cuenta de que las fuerzas de acción y reacción se aplican sobre cuerpos o puntos materiales distintos. Recordemos que estamos estudiando la mecánica del punto material, no de sistemas de puntos materiales. Sin embargo, las explicaciones de la fuerza centrífuga que presentan bastantes textos pueden dar lugar a una comprensión errónea de este principio, como veremos en la segunda parte de este trabajo.

Hay una experiencia muy sencilla que puede ayudarnos a comprender este principio. Tomemos un imán y una barra de hierro, o dos imanes, de modo que puedan desplazarse con facilidad (moviéndose sobre ruedecillas, sobre un carril de aire o flotando sobre un corcho). Colocados a cierta distancia, el imán atrae al hierro (acción) y el hierro atrae al imán (reacción), o recíprocamente. Dejados libremente, ambos se mueven, uno hacia el otro. Si entre ellos hay un obstáculo ligero y deslizable, el imán o el hierro lo moverá hasta que ambos se encuentren adosados al obstáculo. Si las fuerzas de acción y reacción no fuesen iguales, la fuerza con la que el imán empuja al obstáculo no sería igual a la fuerza con que le empuja el hierro (los sentidos son opuestos), dando lugar a una fuerza resultante. Al ser constante la distancia entre el hierro y el imán, permanecerá constante la fuerza resultante que acelerará el conjunto imán-obstáculo-hierro, aumentando indefinidamente su velocidad. Como esto contradice nuestra experiencia, la fuerza resultante debe ser nula y la acción y la reacción serán dos fuerzas de igual in-

tensidad y dirección. Este es esencialmente el razonamiento de Newton en favor de su tercer principio.

Esta experiencia puede enseñarnos algo más. Si el hierro y el imán, o los dos imanes, tuviesen igual masa, ambos se encontrarán en el punto medio de la recta que los une (es conveniente que las ruedecillas, corchos... y las barras sean iguales, y que éstas estén alineadas). Al aumentar progresivamente la masa de uno de los cuerpos y repetir la experiencia, ya no se encontrarán en el punto medio, sino cada vez más cerca del de mayor masa. Si el aumento de masa es muy grande (del orden de 10 a 100 veces la inicial), el espacio recorrido por el cuerpo de mayor masa será mucho menor que el recorrido por el otro cuerpo, pudiendo llegar a ser su movimiento imperceptible. Las fuerzas con que se atraen siguen siendo iguales, ya que el resultado de la experiencia anterior sigue siendo igualmente válido. Esta experiencia nos puede ayudar a comprender la caída de una manzana de su árbol. Vemos cómo la manzana cae hacia la tierra, pero no cómo la tierra se levanta hacia la manzana. La fuerza con la que la tierra atrae a la manzana (acción) es tan intensa como la fuerza con la que la manzana atrae a la tierra (reacción), pero como la masa de la tierra es unas  $10^{25}$  veces mayor que la masa de la manzana, el espacio recorrido por la tierra sería  $10^{25}$  veces menor que el recorrido por la manzana, por lo que el espacio recorrido por la tierra será imperceptible.

Señalemos finalmente que este principio supone que la interacción entre dos cuerpos se propaga instantáneamente, por lo que es incompatible con la admisión de un valor máximo, el de la velocidad de la luz en el vacío, para la transmisión de cualquier señal o información. Esto pone de manifiesto el valor relativo y limitado de la mecánica newtoniana.

Tampoco debemos olvidar que algunas fuerzas, como las electromagnéticas entre dos partículas cargadas en movimiento, no cumplen este tercer principio.

## REFERENCIAS

1. TRUESDELL, C.: «Ensayos de historia de la Mecánica». Editorial Tecnos, Madrid, 1975, págs. 89-174.
2. HOLTON, G.: «Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas». 2.ª edición, Reverté, Barcelona, 1976, pág. 66.
3. Se ha creído conveniente no dar las referencias de los textos de B. U. P. y C. O. U. citados. El objeto del presente trabajo es un estudio didáctico de los principios de la Dinámica y no la crítica de algunos libros de texto. Esta evaluación deberá ser hecha con una visión más amplia y no tan reducida como la que podría deducirse del presente estudio.
4. TRUESDELL, C., o.c. (1). Cfr. págs. 95-6, 107, 126 y 161-2 HOLTON, G., o.c. (2). Pág. 173.
5. MESSIAH, A.: «Mecánica Cuántica». Tomo I, Editorial Tecnos, Madrid, 1965, pág. 199.
6. KUHN, T. S.: «La estructura de las revoluciones científicas». Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1975. Pueden confrontarse los capítulos 3, 9, 10 y 11.
7. AGAZZI, E.: «Temas y problemas de filosofía de la física». Editorial Herder, Barcelona, 1978. Sobre la utilización de modelos pueden confrontarse los apartados 17 y 30.
8. VIENNOT, L.: «Les étudiants et Newton». *La Recherche*, n.º 72, 1975, págs. 980 y ss.
9. TRUESDELL, C., o.c. (1) pág. 92.
10. TIPLER, P. A.: «Física». Editorial Reverté, Barcelona, 1977, pág. 92.
11. Hemos extractado el diálogo de HOLTON, G., o.c. (2)

págs. 79-81 y de CROMBIE, A. C.: «Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo». Tomo 2, Alianza Editorial, Madrid, 1974, pág. 142.  
Una presentación sencilla puede encontrarse en GOLDBERGER, J.: «Física general y experimental». Vol. 1,

2.ª edición, Interamericana, México, 1972, págs. 74-75.

12. En un trabajo posterior estudiaremos el contenido de la magnitud física «masa» y sus diversas definiciones.

## II. Fuerzas y fuerzas de inercia

1. Invariancia de las leyes de la Dinámica. Sistema inercial.
2. Fuerzas de inercia.
3. Fuerza centrífuga.
4. Fuerzas.

En la primera parte de este trabajo estudiamos los principios fundamentales de la Dinámica y las diferentes formas de enunciarlos. En esta segunda parte consideraremos la invariancia de las leyes fundamentales de la Dinámica para analizar en este contexto las fuerzas de inercia, estudiando detenidamente las fuerzas centrífugas. Concluirémos este trabajo con unas reflexiones sobre el concepto de fuerza.

### 1. Invariancia de las leyes de la Dinámica. Sistema inercial

El estudio del movimiento de un cuerpo ha de hacerse respecto a un sistema de referencia. Al enunciar los principios de Newton hemos supuesto implícitamente que este sistema estaba en reposo. Podíamos haber identificado nuestro sistema de referencia con una esquina de nuestro laboratorio, que intuitivamente consideramos como fijo, aunque sepamos que la tierra se mueve respecto al sol. Estos principios ¿serán universalmente válidos o sólo en nuestro laboratorio? Admitamos que los principios de la Dinámica se verifican en un sistema determinado S, ¿se verificarán en cualquier otro sistema de referencia S'?

La respuesta a la pregunta que acabamos de plantear no es inmediata y presupone el estudio cinemático del movimiento de un punto material desde varios sistemas de referencia en movimiento recíproco. En un primer paso (en 2.º ó 3.º curso de Bachillerato) es conveniente que el alumno, comprenda las leyes de Newton y aprenda a aplicarlas correctamente. En un paso posterior (en el curso de orientación universitaria), el alumno después de comprender la relatividad del movimiento, podrá estudiar la invariancia de las leyes de la Dinámica, y en este contexto, las fuerzas inerciales. En un principio es suficiente considerar el movimiento en una sola dimensión, es decir, que los movimientos del punto material respecto a cualquier sistema, y el movimiento respectivo de los sistemas, sean paralelos. No es didáctico ni prudente quemar etapas. La Física en su desarrollo histórico ha procedido por pasos, por aproximaciones sucesivas, y es conveniente aprender de ella. Si comenzamos presentando el problema a nuestros alumnos

en toda su complejidad, sin proceder por aproximaciones sucesivas, éste superará la capacidad de un número apreciable de nuestros alumnos. No sólo serán incapaces de asimilar nuestras enseñanzas, sino que éstas pueden ser causa de confusión que les dificultará una posterior comprensión del tema. Esperemos que el alumno haya comprendido las leyes de la Dinámica, definidas en un sistema considerado supuestamente en reposo, para pasar a un estudio de estos principios definidos en sistemas en movimiento relativo.

Consideremos que el sistema S' se desplaza con movimiento de traslación respecto al sistema S, supuesto en reposo, siendo  $\vec{r}_a$  el vector de posición de su origen respecto al del sistema S. El movimiento del punto material considerado respecto al sistema S viene definido por su vector de posición  $\vec{r}$ , su velocidad  $\vec{v}$  y su aceleración  $\vec{a}$ .  $\vec{r}'$ ,  $\vec{v}'$ , y  $\vec{a}'$  definirán el movimiento del punto material respecto al sistema S', verificándose:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{r}_a$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d\vec{r}_a}{dt}, \quad \vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_a$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{v}_a}{dt}, \quad \vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_a$$

En el caso particular en el que el sistema S' se mueva con respecto al S con movimiento de traslación uniforme (1), la transformación que nos pasa del sistema de referencia S' al S es la llamada transformación de Galileo (2).

$$\vec{r}' = \vec{r} + \vec{v}_a t, \quad \text{con } \vec{v}_a = \text{constante}$$

Como hemos considerado que en el sistema S se verifica el principio de inercia, si sobre el punto material considerado no actúa ninguna fuerza, éste se moverá con movimiento rectilíneo y uniforme respecto al sistema S (es decir  $\vec{v} = \text{vector constante}$ , pudiendo ser el vector idénticamente nulo). Al ser  $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_a$  y como  $\vec{v}$  y  $\vec{v}_a$  son vectores constantes, también será  $\vec{v}'$  un vector constante, verificándose también el principio de inercia respecto al sistema S'. El segundo principio también permanecerá invariante bajo esta transformación, pues  $\vec{a}' = \vec{a}$ , expresándose de manera análoga en ambos sistemas. Las

leyes de la Dinámica son por lo tanto invariantes bajo una transformación de Galileo (2), es decir, la forma de las leyes se conservan cuando pasamos de un sistema a otro cuyo movimiento respecto es de traslación uniforme. Si viajamos en un vehículo con las ventanillas cerradas, sin poder referirnos a un sistema exterior, no podemos saber si nos movemos con movimiento rectilíneo uniforme o si estamos en reposo, ningún experimento nos sacará de nuestra duda. Este es el contenido de la teoría de la relatividad galileana; dos sistemas cuyo movimiento mutuo es de traslación uniforme son equivalentes para la descripción de las leyes de la naturaleza (3).

En muchos textos se clasifican los sistemas de referencia en inerciales y no inerciales, definiéndose el sistema inercial como aquel en el que se verifica el principio de inercia. No es difícil descubrir que esta definición nos lleva a un círculo vicioso. Por otro lado, no somos capaces de dar un sólo ejemplo de sistema inercial en sentido estricto. En nuestra experiencia no existe un sistema en el que no actúen fuerzas sobre todos los cuerpos, aunque estas fuerzas se contrarresten dando lugar a una resultante nula. Nosotros podemos disminuir considerablemente el coeficiente de rozamiento entre dos cuerpos, y conseguir que un cuerpo se mueva sobre una superficie horizontal con un rozamiento muy pequeño. En ausencia de una fuerza resultante con componente horizontal, nuestro cuerpo se moverá sobre la superficie horizontal con movimiento rectilíneo y uniforme, aunque esté sometido a la fuerza de su peso que se contrarresta con la reacción de la superficie o con el empuje del aire comprimido (según el sistema utilizado para conseguir un bajo rozamiento). La experiencia anterior es válida para hacer razonable el principio de inercia, pero no para considerar el sistema de referencia correspondiente al de la superficie sin rozamiento como un sistema privilegiado, como inercial en un sentido absoluto.

Un cuerpo en la superficie de la tierra está sometido no sólo a la fuerza de la gravedad, sino también a la fuerza centrífuga debida a la rotación de la tierra, aunque ésta represente menos del uno por mil de la fuerza gravitatoria y suela englobarse en ella (4). El mismo Newton estableció una serie de criterios para distinguir los sistemas inerciales, que él llamaba absolutos, de los no inerciales. Los fenómenos considerados en esta distinción son susceptibles de otras interpretaciones. Aún resulta más difícil identificar un sistema inercial, ¿lo será el galáctico? (5). Vemos que no sólo la definición de sistema inercial es problemática, sino que no podemos dar con las suficientes garantías un solo ejemplo de sistema inercial en sentido absoluto. Según Einstein «Para el físico, el concepto sólo existe en tanto en cuanto se da la posibilidad de averiguar en un caso concreto si el concepto es pertinente o no» (6).

En 1907, Einstein publica una memoria en la que introduce lo que más tarde llamaría principio de equivalencia, el cual puede ser así descrito:

«Consideremos un observador que está encerrado en una cabina sin ventanas, de modo que se vea imposibilitado de determinar por observación directa si la cabina está en movimiento relativo respecto a un mundo externo o no. Supongamos que el observador encuentra que cualquier objeto en la cabina, cualquiera que sea su naturaleza, al soltarlo cae hacia un lado determinado de la cabina con una aceleración «a» que es constante en cualquier punto de la cabina. Para dar cuenta del fenómeno, el observador

se justificaría proponiendo cualquiera de estas dos explicaciones alternativas:

1.º Puede suponer que la cabina está «en reposo» y que existe un campo de fuerzas, como el campo gravitatorio terrestre, que actúa sobre todos los cuerpos que hay en la cabina y es la causa de que al soltarlos caigan con aceleración «a».

2.º Puede explicar también los fenómenos observados suponiendo que la cabina está en movimiento. Si postula que en el mundo exterior tenemos un sistema de ejes coordenados S respecto al cual no hay campo de fuerza y si supone además que respecto al sistema de referencia S la cabina se mueve con una aceleración de la misma magnitud y dirección que «a», pero de sentido opuesto, es obvio que cualquier cuerpo dejado libremente en el interior de la cabina experimentará una aceleración «a» respecto a la cabina.

El observador no tiene un criterio para decidir cuál de estas dos explicaciones es la verdadera. Si dijéramos que la cabina está en reposo, la explicación primera sería la verdadera, mientras que si afirmamos que es el sistema S el que está en reposo, la explicación segunda sería la verdadera. Pero teniendo en cuenta el Principio de la Relatividad no podemos elegir un sistema en detrimento del otro; no podemos decir que uno está en movimiento y el otro en reposo, debiendo ser consideradas ambas explicaciones como igualmente válidas. En otras palabras, debemos afirmar que un campo de fuerza homogéneo es equivalente a un campo aparente debido a que un sistema de referencia está acelerado con respecto al otro. Un campo gravitatorio uniforme es físicamente equivalente a un campo debido al cambio de sistema de referencia» (7).

De este principio se deducen consecuencias verificables, como la curvatura de la luz en un campo gravitatorio. La curvatura de la luz procedente de las estrellas en la proximidad del sol fue observada por primera vez en 1919, durante un eclipse total de sol (8).

Debemos hacer ahora las siguientes puntualizaciones: Estamos en el marco de la mecánica clásica y partimos de los tres principios de Newton, aunque con las precisiones de los apartados anteriores. No pretendemos comenzar la mecánica explicando la teoría de la relatividad einsteiniana, pero si hemos de evitar dar un carácter absoluto a la distinción entre movimiento rectilíneo uniforme y movimiento acelerado, como tampoco se lo dimos a la distinción entre movimiento rectilíneo uniforme y reposo. Si en un sistema de referencia un punto material se mueve con movimiento acelerado podríamos definir una fuerza de forma que se verifiquen los principios de la dinámica. Si la expresión de la aceleración no es sencilla, tampoco lo será la de la fuerza, y no sería útil considerar ese sistema como inercial, aunque sí sería posible.

Aunque sabemos que la tierra se mueve, tenemos la sensación de que el suelo bajo nuestros pies está en reposo. Por esto podemos considerar que un sistema fijo a la tierra es un sistema inercial, como lo será cualquier otro sistema cuyo movimiento respecto a la tierra sea de traslación uniforme. Al estudiar el movimiento de una persona sobre la cubierta de un barco que se hace a la mar, podemos considerar adecuadamente como sistema en reposo el que está fijado a un edificio del muelle, mientras que el asociado con el transatlántico lo consideramos en movimiento. Pero ya sabemos que esta distinción es arbitraria y su única justificación es la sencillez en el es-

tudio del movimiento de dicha persona. Reposo y movimiento son afirmaciones relativas a un sistema de referencia considerado arbitrariamente como un reposo. Igualmente es relativa la clasificación de los sistemas de referencia en inerciales y no inerciales, teniéndose en cuenta que es respecto a un sistema considerado arbitrariamente como inercial. En otras palabras, cuando afirmamos que un conjunto de sistemas es inercial significa que los sistemas son mutuamente inerciales, pudiendo existir otros conjuntos diferentes de sistemas que sean mutuamente inerciales.

Teniendo en cuenta los conocimientos matemáticos actuales de nuestros alumnos de Bachillerato y del Curso de Orientación Universitaria, creemos conveniente introducir el concepto de «sistema inercial» mediante la definición de una relación de equivalencia. Diremos que dos sistemas  $S$  y  $S'$  son equivalentes o inercialmente equivalentes cuando el movimiento relativo de ambos sistemas es de traslación uniforme. En el marco de la mecánica clásica que ahora nos ocupa, pasaremos de un sistema de referencia a otro mediante una transformación de Galileo ( $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}_a t$ ,  $v_a =$  vector constante). Puede demostrarse fácilmente que la relación así definida es efectivamente reflexiva, simétrica y transitiva, tratándose efectivamente de una relación de equivalencia o de igualdad. Esta relación de equivalencia nos clasifica el conjunto de sistemas de referencia en subconjuntos disjuntos o clases de equivalencia. Cada clase de equivalencia constituye un conjunto de sistemas en los que se cumplen las mismas leyes (son respectivamente inerciales), y la llamaremos simplemente «sistema inercial». Cada elemento del conjunto cociente, cada clase de equivalencia, queda definido por un elemento cualquiera de la clase. Todos los sistemas de una misma clase son físicamente equivalentes, las leyes físicas no dependerán de que consideremos un sistema u otro de la misma clase. Ningún fenómeno físico nos puede distinguir entre dos sistemas de referencia pertenecientes a la misma clase de equivalencia inercial.

Nosotros podemos considerar la tierra como un sistema inercial, por lo tanto también será inercial cualquier sistema de la misma clase de equivalencia. Esta puede ser la opción más intuitiva y la que nos permita una expresión más sencilla y comprensible para las leyes físicas. Pero no es ésta la única opción válida. Así como el principio de la relatividad nos prohíbe afirmar la existencia de un sistema en reposo absoluto, el principio de equivalencia nos prohíbe afirmar que un sistema es inercial en sentido absoluto.

## 2. Fuerzas de inercia

Uno de los temas que ha dado lugar a un mayor número de confusiones es el de las fuerzas de inercia o fuerzas inerciales. En muchos textos se las llama fuerzas ficticias, virtuales, no reales... distinguiéndolas de las demás fuerzas (gravitatorias, electromagnéticas...) consideradas como reales. El origen de estas denominaciones y confusiones puede estar en la identificación de las fuerzas inerciales con las fuerzas ficticias introducidas en el principio llamado de D'Alembert.

Si la segunda ley de la Dinámica en su forma vectorial  $\vec{F} = m \vec{a}$  la escribimos

$$\vec{F} - m \vec{a} = 0$$

podemos darle otra interpretación formal. Definiremos unas nuevas fuerzas  $\vec{F}_f$  que llamaremos ficticias (algunos textos las llaman fuerzas de inercia o reacciones de inercia).

$$\vec{F}_f = - m \vec{a} \quad [1]$$

y la segunda ley de la Dinámica puede escribirse ahora

$$\vec{F} + \vec{F}_f = 0$$

reduciéndose el problema dinámico a uno de equilibrio que se resolverá con los métodos de la estática. Esto es en esencia el principio conocido como de D'Alembert, que enunciaremos:

«En un sistema cualesquiera las fuerzas reales y las ficticias se encuentran constantemente en equilibrio» (9).

Conviene tener en cuenta que este principio constituye una forma diferente de enunciar, una alternativa distinta a la segunda ley de la Dinámica, pues ahora la fuerza total (incluidas las fuerzas ficticias) es siempre nula.

El principio de D'Alembert se aplica adecuadamente a la resolución de problemas relativos al plano inclinado, máquinas de Atwood, etc. La confusión puede producirse si a estas fuerzas [1] las llamamos de inercia. Luego, en algunos textos, se aplica este principio a calcular lo que marcaría un dinamómetro del que cuelga cierto cuerpo, si el dinamómetro está suspendido del techo de un ascensor que se mueve con cierta aceleración. La resolución del problema, aunque nos lleva al resultado correcto, dificulta la comprensión de las fuerzas de inercia y del significado físico del problema. Si estas fuerzas ficticias son identificadas con las de inercia, daremos un significado erróneo a estas fuerzas, reduciéndolas a un mero artificio matemático, como sucede en algunos textos.

Creemos que el estudio de las fuerzas inerciales ha de ser precedido del estudio cinemático del cambio de sistema de referencia, aunque éste se haga en un caso sencillo como el de traslación uniforme. Debemos reconocer que formalmente puede resultar más sencillo el principio de D'Alembert, pero éste no lleva a una comprensión correcta de las fuerzas de inercia. Sería un grave error metodológico el reducir la Física a un sistema de reglas para la resolución de problemas. Como Ciencia que es, debe llevarnos a la comprensión de este aspecto de la naturaleza que constituye el objeto de la Física. Creemos que no podemos considerar como equivalentes dos métodos que aun llevando a los mismos resultados numéricos, nos aporten diferente información sobre la naturaleza de los fenómenos físicos a los que alude.

No es pedagógicamente conveniente intentar enseñar algo para lo que el alumno aún no esté capacitado. En es caso concreto que nos ocupa, identificar las fuerzas de inercia con las fuerzas ficticias puede dificultar una posterior comprensión de estas fuerzas. Aunque el principio de D'Alembert es adecuado para resolver algunos problemas (9) habría que tener un cuidado especial en no identificar estas fuerzas ficticias con las inerciales. Personalmente creemos preferible resolver los problemas relativos a planos inclinados, máquinas de Atwood..., aplicando la segunda ley de la Dinámica. Cuando el alumno haya asimilado estos principios newtonianos en sistemas inerciales, podemos pasar a estudiar el movimiento

desde sistemas de referencia no inerciales. En este contexto podrá comprender el origen y significado de las fuerzas de inercia.

Vamos a estudiar las fuerzas de inercia en la línea a la que nos acabamos de referir. Según el principio de la relatividad galileana, las mismas leyes se verifican en dos sistemas cuyo movimiento relativo es de traslación uniforme, pero no si uno de ellos  $S'$  está acelerado respecto del otro  $S$ , que por sencillez podemos suponer en reposo. La transformación entre ambos sistemas es

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{r}_a \quad \vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_a \quad \vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_a$$

donde  $\vec{v}_a$  no es ya un vector constante y  $\vec{a}_a$  no es vectorialmente nula. En general  $\vec{v}_a$  y  $\vec{a}_a$  serán funciones de la posición del cuerpo y del tiempo.

En un primer paso podemos suponer que el movimiento de ambos sistemas es de traslación, o el más sencillo, de traslación uniformemente acelerado. Si respecto al sistema  $S$  un punto material se mueve con movimiento rectilíneo y uniforme, respecto al sistema  $S'$  se moverá con una aceleración  $\vec{a}_a$ . Si respecto al sistema  $S$  el segundo principio de la dinámica se escribe  $\vec{F} = m\vec{a}$ , respecto al sistema  $S'$  se escribirá:

$$\vec{F} = m(\vec{a}' + \vec{a}_a) \quad \text{ó} \quad \vec{F} - m\vec{a}_a = m\vec{a}' \quad \text{ó} \quad \vec{F} + \vec{F}_i = m\vec{a}' \quad \text{con} \quad \vec{F}_i = -m\vec{a}_a \quad (2)$$

Expresiones que difieren de la correspondiente al sistema  $S$ . La transformación anterior no deja invariante las leyes de la mecánica. En el sistema  $S'$  han de reformularse las leyes de la mecánica introduciendo una nueva fuerza que llamamos de inercia.

Recordando la clasificación de los sistemas de referencia del apartado anterior, podemos decir que las leyes de la mecánica permanecen invariables al pasar de un sistema a otro si ambos pertenecen a la misma clase de equivalencia, pero no si pertenecen a clases distintas. El paso de un sistema de equivalencia a otro perteneciente a otra clase diferente, requiere reformular las leyes de la mecánica introduciendo una nueva fuerza que llamamos fuerza de inercia.

Insistiremos en que ningún sistema debe ser considerado inercial en un sentido absoluto. En la práctica, podemos considerar que un sistema  $S_i$  ligado a la superficie de la tierra o a nuestra casa es inercial y respecto a él se verificarán los tres principios de la mecánica. Estas leyes no se modificarán si en vez del sistema  $S_i$  consideramos cualquier otro que pertenezca a la misma clase de equivalencia que  $S_i$ . Si consideramos otro sistema de referencia que no pertenece a la clase  $S_i$ , las leyes de la mecánica varían y debemos considerar las fuerzas de inercia respectivas. Advirtamos finalmente que dos sistemas ligados a puntos diferentes de la superficie de la tierra pueden no pertenecer a la misma clase de equivalencia, su movimiento relativo puede no ser de traslación uniforme. Estos sistemas se consideran a veces como inerciales, incluyendo la respectiva fuerza de inercia en la fuerza gravitatoria que dependerá de la latitud del lugar. Tampoco debe olvidarse la aceleración de Coriolis (4).

En un artículo aparecido anteriormente en esta revista (10) se estudian las fuerzas de inercia de una manera comprensible por el alumno teniendo en cuenta diferentes sistemas de referencia. Para el autor del artículo las fuerzas de inercia son fuerzas «fal-

sas», aparentes, cuya introducción ha sido necesaria para salvar los principios de la mecánica newtoniana. La falsedad o no realidad de las fuerzas de inercia se pondría de manifiesto al no encontrarse el cuerpo causante de la interacción, violándose el principio de acción y reacción. El hablar de fuerzas de inercia sería un artificio del observador que se encuentra en un sistema no inercial para que en este sistema sean válidos los principios de la mecánica newtoniana.

Debemos tener en cuenta que las leyes de la Dinámica newtoniana han sido definidas en un sistema inercial; y en el contexto de «El Principia» es posible considera la existencia de un sistema inercial en sentido absoluto (5). En este contexto, la extensión de la segunda ley a sistemas no inerciales y la misma definición de fuerza de inercia puede resultar en un principio artificiosa, como se advierte en el artículo citado. En el marco de la mecánica newtoniana las fuerzas de la inercia pueden parecer «menos reales» que otras fuerzas como las gravitatorias o las electrostáticas. Pero la mecánica newtoniana, como cualquier otra teoría física, es sólo una aproximación al conocimiento de la naturaleza. El principio de equivalencia de Einstein, al que nos referimos en el apartado anterior, equipara las fuerzas de inercia a las otras fuerzas. Las sorprendentes consecuencias de este principio fueron comprobadas en experiencias posteriores. La realidad se escapa de los rígidos moldes de cualquier teoría y uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias ha de ser que el alumno constate el valor relativo de las teorías evitándole caer en la tentación de absolutizarlas.

Sabemos que el principio de acción y reacción supone la propagación inmediata de la interacción, incompatible con la admisión de un valor máximo, el de la luz en el vacío, para la propagación de cualquier información o señal. No podemos, por lo tanto, dar a este principio una validez universal, como advertimos anteriormente, ni utilizarlo para clasificar a las fuerzas en «reales» o no.

Podemos preguntarnos por qué la expresión (1) de las fuerzas ficticias en el sentido del principio de D'Alembert coincide con la de las fuerzas de inercia (2) en el sentido dado anteriormente. La respuesta es sencilla si consideramos una masa puntual  $B$  que respecto al sistema de referencia  $S$  se mueve con una aceleración  $a$ . Respecto a un sistema  $S'$ , cuyos ejes permanezcan paralelos al del sistema  $S$  y su origen se mueva con aceleración  $a$ , la partícula  $B$  no estará acelerada (estará en reposo o se moverá con movimiento rectilíneo y uniforme). En el sistema de referencia  $S'$  la partícula  $B$  no está acelerada, está en equilibrio. Siempre podemos elegir un sistema de referencia de manera que una partícula acelerada esté en equilibrio. Por ejemplo, un sistema cuyo origen sea la misma partícula. Ahora se trata de equilibrio en el sentido de la primera ley de Newton. D'Alembert, al no considerar los sistemas de referencia, tenía que generalizar la definición de equilibrio, no dándole significado físico a esas fuerzas ficticias que introducía. Lo abstracto de su formalismo ocultaba los problemas conceptuales de la Dinámica. Nuestro planteamiento ha intentado clarificar que el movimiento y el estado de equilibrio de nuestra partícula  $B$  depende del sistema de referencia considerado y que las fuerzas de inercia se derivan del hecho de que el sistema de referencia no es inercial.

Didácticamente es muy interesante que nuestros alumnos analicen el movimiento de un punto material desde diferentes sistemas de referencia, escri-

biendo las respectivas ecuaciones de movimiento. Una vez que conozcan las respectivas aceleraciones del punto material, podrán calcular respecto a cada sistema de referencia la fuerza resultante que actúa sobre él, aplicando el segundo principio de la Dinámica. Un ejemplo sencillo sería calcular para diferentes movimientos de un ascensor la caída libre de un cuerpo en su interior observada desde el mismo ascensor (sistema de referencia móvil) con la que podría observarse desde la portería, por ejemplo, (sistema en reposo). También resulta instructivo comparar la trayectoria de una partícula sometida a un campo gravitatorio con la trayectoria de la misma partícula en ausencia de gravedad pero respecto a un sistema de referencia acelerado uniformemente con respecto al sistema anterior y en sentido contrario al campo gravitatorio considerado. Este es en esencia el argumento de Einstein en favor del principio de equivalencia reseñado en el párrafo anterior.

Personalmente creemos preferible no introducir las fuerzas de inercia hasta que pueda hacerse en el marco de la relatividad del movimiento, a hacerlo de un modo que oscurezca el significado de las fuerzas de inercia.

### 3. Fuerza centrífuga

Una atención especial merece el estudio de la fuerza centrífuga debido a que es fuente de grandes equívocos y de una errónea interpretación del tercer principio de la Dinámica, como puede deducirse del estudio de algunos textos:

«Por el principio de acción y reacción la fuerza centrípeta crea otra igual y opuesta llamada centrífuga... La existencia de la fuerza centrífuga se puede observar colgando el cuerpo de un dinamómetro y haciéndolo girar.

Si cuando en un cuerpo M que está animado de movimiento circular deja de actuar la fuerza centrípeta, también se anula instantáneamente su reacción, la fuerza centrífuga, y el cuerpo seguirá la dirección de la velocidad tangencial que lleve en ese instante» (11).

«Un cuerpo que se mueve con movimiento circular uniforme está sometido a la acción de la fuerza centrípeta dirigida hacia el centro de la trayectoria. Según el tercer principio, el cuerpo reacciona con otra fuerza del mismo módulo y dirección que la fuerza centrípeta, pero de sentido contrario. La fuerza de reacción se llama fuerza centrífuga.

La existencia de las fuerzas centrípeta y centrífuga se pone de manifiesto en el siguiente ejemplo:

Un atleta, lanzador de martillo, hace girar la bola esférica atada a un alambre. La bola no escapa porque el alambre ejerce una fuerza sobre ella dirigida hacia la mano del atleta (fuerza centrípeta); el alambre está tenso porque, por el principio de acción y reacción, la bola hace una fuerza sobre él igual y de sentido contrario (fuerza centrífuga). Si en un momento dado, el alambre se corta o el atleta lo suelta, desaparecen ambas fuerzas y la bola sale en la dirección de la tangente a la curva en el punto en que se encontraba en dicho momento» (11).

Insistimos, al hablar del tercer principio, en que las fuerzas de acción y reacción se aplicaban sobre cuerpos diferentes. Esto no está claro en las anteriores citas, pudiendo el alumno entender lo contrario. Suponemos que el estudio del movimiento del cuerpo considerado se hace respecto a un sistema de referencia que se supone en reposo, respecto al cual di-

cho cuerpo se mueve con movimiento circular uniforme. Otras afirmaciones hacen pensar en un sistema en movimiento de rotación uniforme, respecto al cual el cuerpo permanece en reposo. Tampoco es exacto considerar la fuerza centrífuga como una fuerza de reacción en el sentido del tercer principio. Las fuerzas de inercia, en general, y la fuerza centrífuga, en particular, tienen como origen el considerar sistemas pertenecientes a diferentes clases de equivalencia inercial.

Vamos a analizar desde el punto de vista de la Dinámica el movimiento circular uniforme. Supongamos que tenemos una bola, que consideraremos como un punto material, unida a una cuerda y queremos que nos describa un movimiento circular uniforme. Para una mayor sencillez y claridad no consideraremos la fuerza gravitatoria. Al estudiar la cinemática del movimiento circular uniforme vimos que la partícula tiene una aceleración perpendicular a la trayectoria y dirigida hacia su centro, que de acuerdo con el segundo principio de la Dinámica, denota la existencia de una fuerza que llamamos centrípeta. Si queremos que nuestra bola describa un movimiento circular uniforme, ejerceremos sobre ella, a través de la cuerda, esta fuerza centrípeta a la que podemos llamar acción. Por el principio de acción y reacción la bola ejercerá sobre nuestra mano y a través de la cuerda una fuerza igual y de sentido contrario que llamaremos reacción. Si en un instante determinado dejamos de ejercer esta fuerza sobre la bola, ésta continuará moviéndose con movimiento rectilíneo y uniforme con la velocidad que tuviese en ese instante, cuya dirección es tangente a la trayectoria. Esta también sería la dirección en que se escaparía la bola en el caso de que se rompiera o se soltara la cuerda. Para que la bola cambie constantemente de dirección es necesario ejercer continuamente sobre ella una fuerza dirigida hacia el centro de la trayectoria, cuya reacción transmitida a través de la cuerda notamos en la mano. Es conveniente insistir en que el punto de aplicación de la acción es distinto al de aplicación de la reacción. Esta discusión del movimiento de la bola supone un sistema de referencia fijo, cuyo centro puede estar en el extremo de la cuerda que sostiene la mano.

Consideraremos ahora otra experiencia similar a la anterior. Sea un eje vertical que gira con movimiento rotacional uniforme con respecto a su base que supondremos en reposo. Podemos definir un primer sistema de referencia S unido a la base y que consideraremos en reposo. Un segundo sistema S' estará unido al eje y girando solidario con él. El sistema S' tendrá un movimiento de rotación uniforme respecto a S, no perteneciendo a la misma clase de equivalencia, es decir, no siendo mutuamente inerciales. Ateemos nuestra bola al eje móvil de modo que gire con su misma velocidad angular. El estudio del movimiento de la bola en el sistema S es análogo al que acabamos de hacer. Como la velocidad de la bola varía continuamente de dirección, ha de actuar sobre ella una fuerza a la que llamamos centrípeta y que está dirigida hacia el eje. En este sistema, el segundo principio se escribe  $\vec{F}_c = m \vec{a}_c$  (donde  $\vec{a}_c$  es la aceleración centrípeta y su módulo viene dado por  $a_c = \vec{v}^2/R$ . Siendo  $\vec{v}$  la velocidad de la bola y R su distancia al eje). Respecto al sistema S' la bola está en reposo y no verificará la anterior expresión del segundo principio. Si nuestra bola está en reposo respecto a S' es que en este sistema la resultante de las fuerzas que actúan sobre ella es nula. Como hemos supuesto que el sistema S' es no inercial, si queremos

que se verifique el segundo principio, debemos considerar además de la fuerza centrípeta  $\vec{F}_c$ , otra fuerza  $\vec{F}_i$  llamada de inercia o fuerza centrífuga:  $\vec{F}_i = m\vec{a}_s$ . Como el eje y la bola giran con la misma velocidad angular,  $\vec{a}_c = -\vec{a}_s$  y  $\vec{F}_i = -\vec{F}_c$  por lo que se anula la fuerza total  $\vec{F}_c + \vec{F}_i$  ejercida sobre la bola. Debemos considerar la fuerza centrífuga cuando consideremos un sistema de referencia que tiene un movimiento de rotación respecto al sistema que hemos supuesto inercial.

#### 4. Fuerzas

Los principios de la Dinámica nos permiten conocer las variaciones en la cantidad de movimiento, o en la velocidad, del punto material, en función de las fuerzas que actúan. En «El Principia», Newton no define lo que entiende por fuerza, supone que es un concepto intuitivo, conocido. Pero si para calcular la aceleración debemos conocer las fuerzas y éstas las conocemos en función de sus efectos, es decir, de las aceleraciones que producen, estamos en un círculo vicioso. O sencillamente, la teoría será incompleta si no nos dice cómo podemos calcular estas fuerzas. Newton respondió parcialmente a esta pregunta describiendo una de estas interacciones mediante su Ley de la Gravitación Universal. Llegado a este punto es interesante hacer una breve descripción de las diferentes fuerzas o interacciones. Conviene distinguir entre las fuerzas elementales (gravitatorias, electromagnéticas y nucleares) y las fuerzas empíricas o globales (moleculares, ósmosis, tensión superficial, elásticas, capilares, de rozamiento, etc.). Estas últimas fuerzas podrían calcularse en función de las fuerzas elementales, pero su cálculo es normalmente tan complejo que generalmente es irrealizable. Si un bloque de madera se desliza sobre una superficie plana, las moléculas (o los átomos) del bloque y de la superficie interactúan. Calcular esta fuerza en función de las interacciones de los átomos de ambos cuerpos es prácticamente imposible. Pero para el estudio del movimiento de un cuerpo sobre la superficie es suficiente con describir estas interacciones mediante una fuerza llamada de rozamiento que se opone al deslizamiento del bloque. En el caso más simple, esta fuerza de rozamiento depende de la fuerza normal que oprime al bloque contra la superficie y de un coeficiente que puede calcularse experimentalmente. De ahí el nombre de fuerza empírica. También podemos considerar como fuerza empírica, por ejemplo, la que nosotros hacemos al empujar un cuerpo.

Hay otra clasificación de las fuerzas que no creemos ni conveniente ni didácticamente adecuada: Fuerzas por contacto y fuerzas a distancia. El golpear un balón con el pie puede ser considerado como una fuerza por contacto. Pero el material con que está hecho el balón y el aire que encierra está formado por moléculas y éstas por átomos. El pie no llega nunca a tocar los núcleos atómicos del material con que ha sido hecho el balón, sino que a lo más deforma las distribuciones periféricas de carga. Por otro lado, la fuerza electromagnética puede explicarse mediante un intercambio de fotones. Creemos que, al menos en el nivel considerado, esta división no ayudaría a nuestros alumnos en el estudio de las fuerzas.

Anteriormente no hemos creído conveniente considerar las fuerzas de inercia como ficticias o no reales, pero podemos preguntarnos: ¿Expresa la fuerza

algo real, o es un concepto creado por nosotros, una ficción metodológica, útil en la resolución de problemas prácticos pero que no aporta nada a la comprensión de la naturaleza? Esta pregunta nos lleva a una zona limítrofe entre la Física y la Filosofía en la que no podemos detenernos ahora (12). Una manera de responder a esta pregunta es plantear la siguiente experiencia que podemos realizarla de manera ideal en nuestra imaginación o realizarla aproximadamente con imanes móviles o esferitas cargadas moviéndose sobre corchos flotantes:

Supongamos una región del espacio, libre de las acciones de otros cuerpos. Si desde uno de sus extremos lanzamos uno de nuestros móviles, según el principio de inercia seguirá con movimiento rectilíneo uniforme. Si colocamos en esta región del espacio o en sus proximidades otros cuerpos que interactúen con nuestro móvil, su movimiento no será ya rectilíneo y uniforme. Esta modificación de la trayectoria puede ser explicada de diferentes formas, entre las que señalaremos:

1.º La presencia del imán fijo ejercerá sobre nuestro imán móvil una fuerza que según el segundo principio de la Dinámica modificará su estado de movimiento.

2.º El imán crea un campo magnético modificando el espacio que le rodea. Esto se pone de manifiesto por la modificación en la trayectoria que sufrirá cualquier otro imán al penetrar en este campo. Como el campo gravitatorio, por ejemplo, puede definirse como la fuerza por unidad de masa, puede pensarse que es una ficción metodológica y que lo que existe realmente son las fuerzas. Pero el campo toma entidad propia si tenemos en cuenta que no se propaga instantáneamente, sino con una velocidad que no puede ser mayor que la de la luz en el vacío (13).

3.º Aún podemos dar otra explicación. La presencia del imán fijo modifica la geometría del espacio circundante, de modo que ésta ya no será euclidiana. Este enfoque fue desarrollado por Einstein en el estudio de la gravitación (14). Podríamos decir que nuestro móvil seguiría moviéndose en línea recta, pero es la definición de «línea recta» lo que se modifica por la presencia del imán fijo.

Fuerza, campo, modificación de la geometría son explicaciones válidas y parciales de un mismo fenómeno. Ambas explican un mismo hecho, la modificación del movimiento de un cuerpo en la proximidad de otro. Son diferentes enfoques, diferentes lenguajes para describir los fenómenos naturales y todos nos ayudan a conocer mejor la naturaleza. No es válido identificar ninguna ley ni teoría física con las leyes de la naturaleza, aunque algunas de estas teorías describan mejor y más ampliamente esta naturaleza. Las leyes de la naturaleza, si hay algo que pueda describirse con este nombre, no están a nuestro alcance. El científico no busca la esencia de las cosas para llegar, partiendo de ellas, al conocimiento de los fenómenos. El científico busca esquemas útiles para la comprensión de los fenómenos, es decir, sugerencias para la elaboración de hipótesis respecto a los objetos de su estudio. El científico parte de la observación. Esta es la concepción galileana con la que podemos decir que nace la ciencia propiamente dicha. La fuerza es un concepto introducido para explicar la modificación del movimiento de un cuerpo en la proximidad de otros, es decir, cuando interactúa con otros cuerpos. Podemos considerar a las fuerzas como algo real en cuanto que explican y describen estas modificaciones del movimiento.



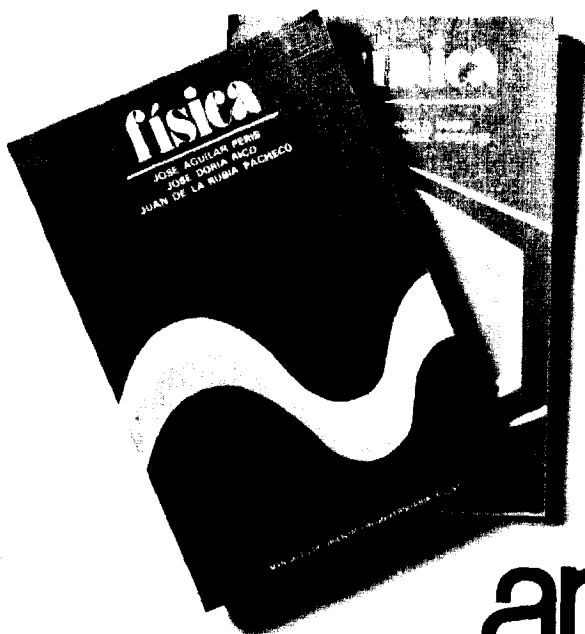
## REFERENCIAS

1. Decimos que el movimiento de dos sistemas de referencia es de traslación uniforme cuando sus ejes coordenados permanecen paralelos y el movimiento respectivo de sus orígenes es rectilíneo uniforme.
  2. Recordemos que estamos en el marco de la mecánica clásica. En el de la relativista einsteniana la transformación será la de Lorentz en lugar de la de Galileo.
  3. No sólo para las leyes de la mecánica, sino también para las del electromagnetismo. En este caso se deberá sustituir la transformación de Galileo por la de Lorentz, redefiniéndose los conceptos de espacio, tiempo, masa...
  4. ALONSO, M., y FINN, E. J.: «Física». Vol. 1.º: «Mecánica, Fondo Educativo Interamericano», Bogotá, 1976, págs. 129 y ss.
  5. GOLDBERG, J.: «Física general y experimental». Vol. 1, 2.ª edición, Interamericana, México, 1972, págs. 108 y ss.
  6. EINSTEIN, A. y otros: «La teoría de la relatividad». Alianza Editorial, Madrid, 1968, pág. 77.
  7. WHITTAKER, E.: «A History of the Theories of Aether and Electricity». Vol. 2, *Humanities Press*, 1973, pág. 152 (Traducción libre).  
Puede confrontarse también: EINSTEIN, A. o.c. (6) págs 89 ss. Una crítica del principio de inercia en: EINSTEIN, A.: «El significado de la relatividad». Espasa-Calpe, Madrid, 1971, págs. 73 y ss.
  8. HOLTON, G.: «Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas». 2.ª edición, Reverté, Barcelona, 1976, págs. 741-2 y 778-9.
  9. LOEDEL, E.: «Enseñanza de la Física». 2.ª edición, Kapelusz, Buenos Aires, 1957, págs. 279 y ss.  
SEARS, F. W.: «Fundamentos de Física I. Mecánica, calor y sonido». 7.ª edición, Aguilar, Madrid, 1975, págs. 90-1. Puede también confrontarse el artículo HERNÁNDEZ, J. L., y LÓPEZ SANCHO, J. M.: «Sobre las fuerzas de inercia». *Revista de Bachillerato*, n.º 2, 1977, pág. 33.
  10. ARANDA I. OLIVERAS, J.: «Sobre las fuerzas de inercia en el Bachillerato». *Revista de Bachillerato*, n.º 10, 1979, pág. 45.
  11. Se ha creído conveniente no dar las referencias de los textos de B. U. P. y C. O. U. citados. El objeto del presente trabajo es un estudio didáctico de los principios de la Dinámica y no la crítica de algunos libros de texto. Esta evaluación deberá ser hecha con una visión más amplia y no tan reducida como la que podría deducirse del presente estudio.
  12. JAMMAER, M.: «Le concept de force». *La Recherche*, n.º 43, 1974, págs. 221 y ss.
  13. PURCELL, E. M.: «Electricidad y Magnetismo». Berkeley physics course. Vol. 2, Editorial Reverté, Barcelona, 1969, págs. 150 y ss.
  14. EINSTEIN, A.: «El significado de la relatividad». Espasa-Calpe, Madrid, 1971, págs. 76 y ss.  
WHITTAKER, E., o.c. (7), págs. 144 y ss.
-

# Una presencia "física" muy "estable"

Anaya está presente en todos los campos de la enseñanza cubriendo con amplitud los objetivos marcados.

Una presencia en constante renovación con el rigor que exige nuestro tiempo y con el servicio que precisa nuestra sociedad.



**anaya**

EL AUXILIAR DE CLASE

# Algunas precisiones sobre el lenguaje de los textos de Física y Química

Por Arturo CARCAVILLA CASTRO (\*) y Lucía PUEY BERNUES (\*\*)

Es un hecho fácilmente comprobable que una gran parte de los alumnos de Bachillerato, incluso de Ciencias, terminan este período de sus estudios sin tener una visión clara, como convendría a una persona culta de nuestros días, de lo que es la ciencia. No comprenden el papel que juegan la teoría y la experimentación.

Para la comprensión de ese papel, lo más apropiado sería que los métodos didácticos reflejaran el proceso de investigación científica, que los alumnos practicasen, en la medida de lo posible, lo que se ha dado en llamar el método o los métodos científicos. Como es sabido, estos métodos son difíciles de resumir en un esquema rígido, ya que los científicos, a veces, parten de conjeturas, libremente; a veces, construyen un modelo para investigación matemática y luego hacen pruebas experimentalmente; a veces, amontonan investigación experimental, estando a la expectativa de que surja lo inesperado; a veces, planean y prueban un gran experimento y obtienen un importante resultado directamente o por clasificación estadística de un conjunto de medidas; a veces, es una serie progresiva de experimentos lo que les lleva paso a paso al conocimiento; a veces, es una mezcla de todo.

El experimento es la piedra de toque, y los científicos están abiertos a la posibilidad de tener que cambiar sus teorías en cuanto estén en contradicción con algún hecho experimental.

La metodología didáctica que predomina en los textos españoles es, fundamentalmente, deductiva. No vamos a analizar los obstáculos que para la eficacia de este tipo de metodología pueda suponer la falta de madurez del alumno. No pretendemos atacar ni defender este tipo de metodología. Simplemente apuntar que su uso, casi exclusivo, junto con la no aclaración de los puntos que indicamos a continuación, conducen lógicamente a una peligrosa confusión respecto a la naturaleza del conocimiento científico.

## DISTINCION ENTRE HECHOS OBSERVABLES Y TEORIAS

Notemos que para comprender el papel que juega la teoría es evidente que debe quedar claro que algunos conceptos son auténticos «inventos» teóricos y no hechos directamente observables.

Un obstáculo para la comprensión de lo anterior es la forma en que se expresan los científicos y los textos científicos en algunas circunstancias. Utilizan expresiones que, tomadas literalmente, pueden inducir a error a la persona no experta.

Por poner un ejemplo concreto, y que podamos encontrar en todos los niveles de la enseñanza, hablabamos de los átomos.

Primeramente, ¿qué conocimientos de ellos tienen los científicos? Podemos poner un ejemplo del profesor Eric Rogers. La región de estudio es como una habitación con varias puertas cerradas alrededor de ella. Miran a través de una de ellas y obtienen una visión. Miran por otra y observan un panorama bastante diferente, y así con todas. Por ejemplo, la radiactividad daba una visión, las corrientes de electrones otra, los rayos X otra, el efecto fotoeléctrico otra. Algún efecto de los rayos X se presentaba unido a la radiactividad, alguno con el efecto fotoeléctrico, etc. Finalmente, comparando todo, se fue formando un cuadro apropiado para describir la micronaturaleza.

Nuestro conocimiento ha llegado a formar una teoría tan apropiada que confiamos mucho en ella porque concuerda con nuestra visión a través de muchas puertas. Ahora bien, para haber adquirido ese sentido de seguridad hemos necesitado mirar a través de todas las puertas, y un tiempo para darnos cuenta de la coherencia del cuadro. No se puede pretender que ese sentido se adquiriera en unas pocas semanas.

¿Qué es lo que suele pasar en 8.º curso de E. G. B., que es cuando se nombran por primera vez con algún detalle? Se citan los postulados de la teoría atómica de Dalton sin ligarlos con los hechos que le llevaron a enunciarlos, y luego se sigue hablando de los átomos como de objetos que «sabemos» que existen con gran seguridad. Como no se insiste adecuadamente en el carácter teórico del concepto, en los hechos que pueden explicarse con él y en la relación entre los hechos y la teoría, el alumno queda con la impresión de que existe algún aparato para «ver» átomos o algún procedimiento para «demostrar» que existen que no se le ha comunicado. En segundo curso de B. U. P. la situación cambia cuantitativamente, pues se aportan más datos pero no de un modo cualitativo.

Los libros que adoptan la postura de considerar los átomos como objetos, con una total seguridad ante su existencia, están adoptando, quizá inconscientemente, una postura filosófica representada por el siguiente pasaje del físico inglés Sir Arthur Eddington, cuando en la introducción a su libro «The Nature of the Physical World» dice a sus lectores que

(\*) Profesor agregado de Física y Química del I. B. de Binéfar-Tamarite (Huesca).

(\*\*) Profesor de Física de la Escuela Universitaria del Profesorado de E. G. B. de Huesca.

al ponerse a escribir su libro acercó sus dos sillas a sus dos mesas. Y para exponer la diferencia entre las dos mesas explica:

«Con una de ellas estoy familiarizado desde mis primeros años... Tiene extensión; es relativamente permanente; tiene color; fundamentalmente es sustancial... La mesa número dos es mi mesa científica. Ella... es más que nada vacío. Diseminadas aquí y allá en ese vacío hay numerosas cargas eléctricas precipitándose a gran velocidad; pero todo su volumen representa menos de una billonésima del volumen de la mesa misma. Sin embargo la mesa sostiene el papel que escribo de un modo tan satisfactorio como la mesa número uno porque cuando dejo el papel sobre ella, las pequeñas partículas eléctricas, con su temeraria velocidad, siguen actuando por debajo de tal modo que el papel se mantiene como suspendido en el aire, a un nivel casi constante... Hay una enorme diferencia entre que el papel esté posado como sobre un enjambre de moscas... Y que se sostenga porque bajo él hay una sustancia, dado que la naturaleza intrínseca de la sustancia es ocupar espacio con exclusión de cualquier otra sustancia... Ni que decir tiene que la física moderna me ha asegurado, con pruebas exquisitas y con una lógica despiadada que mi segunda mesa, la mesa científica, es la única que en realidad está allí. . Ni que decir tiene, por otra parte, que la física moderna no conseguirá nunca exorcizar esa primera mesa-extraño compuesto de naturaleza externa, imaginaria mental y prejuicio heredado, cuando se presenta visible a mis ojos y tangible a mis manos.»

Sin negar la existencia de la mesa número uno como Eddington, la mayoría de los autores de libros de texto adoptan su misma postura respecto a la mesa científica, la número dos.

Una postura contraria es la de negar la existencia de los objetos a que se refieren las entidades teóricas, y considerar éstas como mecanismos formales útiles, ficciones ingeniosamente tramadas que proporcionan una explicación descriptiva y predictiva, formalmente simple, de cosas y acontecimientos observables. Esta postura fue adoptada por el físico austriaco Ernst Mach, que sostuvo que la teoría atómica de la materia proporcionaba un modelo matemático para la representación de algunos hechos, pero que no se podía atribuir ninguna realidad física a los átomos o a las moléculas.

No es necesario adoptar una u otra postura. Se puede permanecer neutral. Ahora bien, ya hemos dicho que a muchos científicos la gran coherencia y fecundidad de la teoría atómica les lleva a considerar a los átomos como verdaderos objetos; sin embargo, en E. G. B. y B. U. P., la evidencia experimental no es tan fuerte como para que ella sola sea capaz de llevar a los alumnos ese sentido de convicción que poseen los científicos. Si presentamos los átomos como objetos, con seguridad total de su existencia, ellos creerán porque lo decimos nosotros y el texto, y no tratarán de profundizar en la relación que pudiera existir entre los átomos y los hechos observables. Pensarán que para conocer el comportamiento de los átomos basta con observarlos. Se pierde así la oportunidad de motivar a los alumnos para que mediten en las relaciones entre una entidad teórica y los hechos que llevaron a postularla.

Una introducción, a mi modo de ver muy adecuada, neutral y acorde con la consideración de los átomos como entidades que postulamos para explicar una serie de hechos de observación viene en el libro de física básica Nuffield.

Al pretender distinguir claramente las entidades teóricas de los hechos, tampoco pretendo que llamemos observaciones únicamente a aquellas que cualquier profano en la materia podría hacer. Consideremos el siguiente pasaje del físico e historiador de la ciencia francés Pierre Duhem:

«Entremos en un laboratorio y acerquémonos a la mesa, poblada por una multitud de aparatos: una pila eléctrica, alambre de cobre recubierto de seda, pequeñas vasijas de mercurio, bobinas y un espejo montado en una barra de hierro; el experimentador está insertando en pequeñas aberturas los extremos metálicos de unos alfileres con cabeza de ébano; la barra de hierro oscila y el espejo adosado a ella lanza una banda luminosa sobre una escala de celuloide; el movimiento hacia atrás y adelante permite al físico observar mínimas oscilaciones de la barra de hierro. Pero preguntémosle lo que está haciendo; ¿responderá: «estoy estudiando las oscilaciones de una barra de hierro que soporta un espejo»? No, dirá que está midiendo la resistencia eléctrica de la bobina. Si nos quedamos sorprendidos y le preguntamos qué significan sus palabras, qué relación tienen con los fenómenos que estaba observando y que nosotros contemplábamos al mismo tiempo que él, responderá que nuestra pregunta requiere una larga explicación y que deberíamos seguir un curso de electricidad.»

No hay inconveniente en llamar observaciones a actividades de ese tipo siempre que reconozcamos la carga teórica que tienen detrás, pues de no hacerlo así daríamos una imagen distorsionada de lo que es la ciencia.

## ESCEPTICISMO CIENTIFICO

La historia de la ciencia nos enseña a ser algo escépticos ante las leyes y teorías, y a estar dispuestos siempre a modificarlas en cuanto los hechos las contradigan de algún modo. Es pues deseable que los alumnos adquieran, junto con la confianza en la uniformidad de la naturaleza, o sea, confianza en que lo que ocurre hoy también ocurrirá mañana, que lo que sirva para unos muelles sirva para otros, y que los observadores se ponen fácilmente de acuerdo, adquieran una cierta dosis de escepticismo científico, si queremos que juzguen las leyes y teorías de un modo apropiado.

Existe una cuestión filosófica llamada «el problema de la inducción» que estaría fuertemente relacionado con este punto. El problema de la inducción trata de si están justificadas las inferencias inductivas, o sea, los enunciados universales basados en la experiencia.

Muchos creen que la verdad de estos enunciados «se sabe por experiencia», sin embargo, es claro que todo informe que da cuenta de una experiencia o de una observación o del resultado de un experimento no puede ser originalmente un enunciado universal, sino sólo un enunciado singular. Por lo tanto, quien dice que sabemos por experiencia la verdad de un enunciado universal suele querer decir que la verdad de dicho enunciado puede reducirse, de cierta forma, a la verdad de otros enunciados, éstos singulares, que son verdaderos según sabemos por experiencia; lo que equivale a decir que los enunciados universales están basados en inferencias inductivas.

Podemos considerarlo como un problema estrictamente filosófico, probablemente no se podrá resolver nunca, y no debe preocuparnos constantemente.

Simplemente hemos de ser conscientes de que en última instancia todas las leyes y teorías científicas se apoyan en que sus conclusiones sean acordes con la experiencia, y este tipo de apoyo nunca proporciona certeza.

No se juzga una teoría por lo correcta que pueda ser, que eso nunca lo sabemos, sino por cómo ayuda, sugiere experimentos o promueve ideas. Para muchos científicos, sin embargo, el colmo del valor de una gran teoría no está precisamente en la fertilidad de predicciones, sino en el profundo sentido de seguridad de conocimiento que da.

Ahora bien, los científicos y sus textos, por comodidad, utilizan expresiones que pueden prestarse a confusión, pues cuando una serie de hechos está de acuerdo con las predicciones de una teoría, dicen que aquello «confirma» o «demuestra» aquella teoría. Esto tiene como consecuencia que si a lo largo de un curso no se ha insistido suficientemente en la puntualización de estas expresiones «demuestra» o «confirma» u otras similares acaben considerando como seguras, con certeza todas aquellas leyes tan «demostradas experimentalmente», aparte de que posiblemente no comprendan nunca la distinción entre una demostración en el sentido lógico y otra de este tipo.

#### DISTINCION ENTRE PROBLEMAS DE LAS CIENCIAS EMPIRICAS Y PROBLEMAS METAFISICOS

Otro punto, quizá de menor importancia, es el relacionado con lo que en filosofía se llama problema de la demarcación. Consiste en encontrar un criterio que permita distinguir entre las ciencias empíricas, por un lado, y los sistemas metafísicos, por otro.

Quizá a algunos pudiera parecerles de escaso interés o bien poco apropiado para considerarlo un profesor de ciencia, pero, sin embargo, en algunos textos existen frases erróneas y totalmente relacionadas con este problema, como la siguiente, tomada de un texto de física y química de segundo curso de B. U. P.: «Una afirmación es científica cuando de ella se obtienen datos concretos.» Un par de ejemplos nos harán ver en seguida lo equivocado de la anterior afirmación.

El primero está sacado del libro «Physics for the inquiring mind», de Eric Rogers, y consiste en un diálogo entre dos personas:

Tú.—No creo en los demonios.

Fausto.—Yo, sí.

Tú.—De cualquier manera, no veo que los demonios puedan hacer la fricción.

Fausto.—Ellos simplemente se paran enfrente de las cosas y los empujan para evitar que se muevan.

Tú.—Yo no puedo ver demonios ni en la masa más áspera.

Fausto.—Ellos son demasiado pequeños, también son transparentes.

Tú.—Pero hay más fricción sobre superficies más ásperas.

Fausto.—Hay más demonios.

Tú.—El aceite ayuda.

Fausto.—El aceite ahoga a los demonios.

Tú.—Si pulo la mesa hay menos fricción y la pelota rueda más lejos.

Fausto.—Estás quitando demonios, quedan menos para empujar.

Tú.—Una bola pesada experimenta más fricción.

Fausto.—Más demonios la empujan y aplasta más sus huesos.

Tú.—Si yo pongo un ladrillo sobre la mesa puedo empujar contra la fricción con más fuerza, hasta un límite, y el bloque se queda quieto con la fricción contrarrestando exactamente mi empuje.

Fausto: Naturalmente, los demonios empujan suficientemente fuerte para evitar que muevas el ladrillo; pero hay un límite a sus fuerzas más allá del cual ellos desfallecen.

Otro ejemplo:

«El astrónomo florentino Francisco Sizzi afirmaba en 1611 que no podían existir satélites alrededor de Júpiter por las razones siguientes: hay siete ventanas en la cabeza: dos orificios en la nariz, dos ojos, dos oídos y una boca; así, en los cielos existen dos estrellas favorables, dos no propicias, dos luminarias y Mercurio, solo, indeciso e indiferente. De este y otros muchos fenómenos de la Naturaleza, tales como los siete metales, etc., que sería tedioso enumerar, llegamos a la conclusión de que el número de planetas es necesariamente siete... Además los judíos y otras antiguas naciones, así como los europeos modernos, han adoptado la división de la semana en siete días y los han denominado según los siete palnetas; si incrementamos este número todo el sistema falla... Asimismo, los satélites son invisibles a simple vista, por tanto no pueden tener influencia sobre la Tierra, son inútiles y, en consecuencia, no existen.»

Es claro, en ambos ejemplos, que se obtienen datos concretos y que son teorías que ningún científico aceptaría.

Karl Popper propone que el criterio para distinguir entre teorías científicas y metafísicas sea el que llama de la falsabilidad, esto es: sólo admitiremos entre los científicos o empíricos un sistema si es susceptible de ser contrastado por la experiencia. Hemos visto al tratar el problema de la inducción que es imposible *verificar* un sistema empírico, esto es, demostrar que es verdad. Exigiremos en cambio que sea *falsable*, esto es, «ha de ser posible refutar por la experiencia un sistema científico empírico».

La teoría de los demonios no se podía refutar de ningún modo, pues siempre se salvaba mediante una hipótesis «ad hoc», sean cualesquiera los hechos. Francisco Sizzi planteaba las cosas de tal modo que no hubiese aceptado ningún tipo de evidencia experimental que fuera en contra de sus teorías.

Parece razonable adoptar este criterio de la falsabilidad a nivel de B. U. P. y E. G. B., no tanto para dirimir entre teorías científicas y metafísicas, como para rechazar las teorías cuando alguna de sus consecuencias vaya en contra de los hechos, pues esto es, en realidad, lo que han venido haciendo los científicos según vemos en la historia de la ciencia, sobre todo en los momentos que T. S. Kuhn llama revoluciones científicas.

Hemos de indicar en honor a la verdad que esta concepción no es la única posible. Existe una posición filosófica llamada convencionalismo, según la cual las leyes de la naturaleza son libres creaciones, invenciones, decisiones arbitrarias y convenciones nuestras. Si esto se acepta, cualquier teoría podría salvarse mediante hipótesis «ad hoc» de una posible falsación. Tampoco sería aceptable desde este punto de vista una teoría como la de los demonios, puesto que fricción y demonios, que no son más que nombres para un mismo conjunto de fenómenos, no se unen con otras propiedades. Partiendo de la teoría atómica, aportando pruebas, podríamos librar el rozamiento con otras propiedades. Ya podría ser entonces la fricción un nombre científico para un com-

portamiento bien ordenado y unido a otro conocimiento.

Apuntamos estas dos posibilidades sin profundizar en ninguna, opinando únicamente que parece más prometedora la de Popper desde un punto de vista práctico a nuestro nivel; pero nos gustaría que este punto se discutiera más seriamente y se investigaran las posibilidades de ambas.

## RELACION ENTRE EXPERIENCIAS PERCEPTIVAS Y ENUNCIADOS DE HECHOS SINGULARES

Este punto es excesivamente importante, pero es menos conocido que el anterior. Tiene relación con él, llamado en filosofía problemas de la base empírica. Así se denominan los problemas concernientes al carácter empírico de los enunciados singulares y a su contrastación. El punto más oscuro se refiere a las relaciones entre *experiencias perceptivas* y *enunciados básicos*. (Llamamos enunciado básico a un enunciado que puede servir de premisa en una falsación empírica; brevemente dicho, a la enunciación de un hecho singular).

Se ha considerado con frecuencia que las experiencias perceptivas proporcionan algo así como una justificación de los enunciados básicos: se ha mantenido que estos enunciados están «basados sobre» tales experiencias, que mediante éstas se «manifiesta por inspección» la verdad de aquéllos o que dicha verdad se hace «patente» en las experiencias mencionadas, etc. Todas estas expresiones muestran una tendencia perfectamente razonable a subrayar la estrecha conexión existente entre los enunciados básicos y nuestras experiencias perceptivas. Con todo, se tenía la impresión exacta de que *los enunciados sólo*

*pueden justificarse lógicamente mediante otros enunciados*: por ello, la conexión entre las percepciones y los enunciados permanecía oscura, y era descrita por expresiones de análoga oscuridad que no aclaraban nada, sino que resbalaban sobre las dificultades.

Podemos encontrar una solución si separamos claramente los problemas psicológicos de los lógicos y metodológicos. Hemos de distinguir, por una parte, *nuestras experiencias subjetivas* o *nuestros sentimientos de convicción*, que no pueden jamás justificarse enunciado alguno y, por otra parte, *las relaciones lógicas objetivas* existentes entre los diversos sistemas de enunciados científicos y en el interior de cada uno de ellos.

Por tanto, debemos ser cuidadosos con el lenguaje, y no introducir más confusión con enunciados de este tipo (también extraído de un texto de segundo curso de B. U. P.): «Las leyes de la Física y la Química se obtienen a partir de la observación de los fenómenos y su generalización». No tiene sentido decir que generalizamos los fenómenos o las observaciones. Es claro que lo que se generalizan son los enunciados singulares acerca de esos fenómenos. Quizá esto pueda parecer trivial, pero hemos podido detectar inquietudes entre los alumnos cuya fuente era alguna expresión de este tipo.

## EXPLICACION

Hay otro concepto que suele ser motivo de insatisfacciones entre los alumnos, puesto que la idea que a veces ellos tienen no coincide con la de los científicos. Me refiero al concepto de *explicación*.

## GUIA DE CENTROS DOCENTES (5 volúmenes)

Figuran en esta obra todos los Centros de Enseñanza, en los niveles de Educación Preescolar, General Básica, Formación Profesional, Bachillerato y Educación Especial.

Consta de cinco volúmenes, cada uno de los cuales abarca un grupo de provincias. Dentro de cada provincia aparecen separados los centros estatales y los no estatales, ordenándose los municipios y las localidades siguiendo un criterio alfabético. Los tomos son los siguientes:

- I. ALAVA-BURGOS.
- II. CACERES-HUELVA.
- III. HUESCA-MALAGA.
- IV. MURCIA-SANTANDER.
- V. SEGOVIA-ZARAGOZA y CEUTA Y MELILLA.

El precio de la obra completa es de 6.000 pesetas, pudiéndose adquirir por tomos sueltos a 1.500 pesetas cada uno.

Obra de sumo interés para todas aquellas empresas relacionadas con la educación, por ser la única publicada que ofrece las direcciones de todos los Centros de Enseñanza, estatales y no estatales, existentes en España, así como los puestos escolares, por niveles, de cada centro.

### Venta en:

Planta baja del Ministerio de Educación. Alcalá, 34. Madrid-14.

Paseo del Prado, 28. Madrid-14.

Edificio del Servicio de Publicaciones. Ciudad Universitaria, s/n; teléfono 449 77 00. Madrid-3.

En los contextos no científicos el verbo explicar suele ser un predicado triádico: es decir, *alguien explica algo a alguien*. Ahora bien, al discutir la explicación científica algunos autores prefieren centrarse únicamente en términos de sintaxis y semántica.

Los alumnos tienen un concepto de explicación del tipo «reducción a lo conocido» o del tipo «analogía». Buscan un tipo de explicaciones que guarden analogía con leyes ya aceptadas o que relacionen lo desconocido o no comprendido con cosas conocidas.

Ahora bien, independientemente de que en filosofía de la ciencia se pueda discutir sobre definiciones aceptables de lo que se debe considerar como explicación, es claro que muchas de las ideas que en ciencia consideramos explicaciones de unos hechos son leyes, de las cuales puede deducirse, en determinadas condiciones, de enunciados acordes con esos hechos. Esas leyes, la mayoría de las veces, serán más complicadas y menos conocidas que los hechos, por tanto a muchos alumnos les parecerán unas explicaciones poco «explicativas». Hay que hacer ver que en ciencia llamamos explicaciones a ese tipo de cosas.

## ¿POR QUÉ? O ¿CÓMO?

Vamos a tratar de aclarar el escaso significado que, a veces, tienen las respuestas a la pregunta ¿por qué? Lo haremos con un ejemplo: Aristóteles estaba interesado con la respuesta a ¿por qué? ¿Por qué caen las cosas? Si decimos «a causa de la gravitación», ¿no nos estamos refugiando detrás de una palabra? Si decimos «las cosas caen porque son pesadas», ¿por qué son entonces pesadas las cosas? Si replicamos «a causa de la gravedad» estamos dando un rodeo. Si respondemos «porque la tierra tira de ellas» la próxima pregunta será ¿cómo sabemos que la tierra tira de ellas cuando están cayendo? Cualquier intento de demostrar esto con una báscula durante la caída conducirá a un desastre. Esto no debe llevarnos al desaliento. De hecho la Física no explica

la gravitación. No puede encontrar una causa para ella, pero puede decir algunas cosas útiles de ella. La Teoría de la Relatividad Generalizada presenta la gravitación bajo una nueva luz, pero no indica su última causa. Podemos decir que las cosas caen porque la Tierra tira de ellas, pero cuando intentamos explicar por qué la Tierra tira, hemos de decir: «la Naturaleza es así». Esto es decepcionante para la gente que espera que la ciencia explique todo, pero nosotros consideramos esas cuestiones de última causa fuera del ámbito de la ciencia. Están en el campo de la filosofía y la religión. La ciencia moderna pregunta qué y cómo y no el primario por qué.

Esto deberíamos tenerlo presente, pues se observan demasiados ¿por qué? mal empleados y pocos ¿cómo? en algunos de nuestros textos. Ahora bien, la ciencia a menudo explica por qué un acontecimiento ocurre. Esto no significa dar una primaria causa o explicación última. Sólo significa relacionar el acontecimiento con otro comportamiento ya de acuerdo con nuestro conocimiento científico, o sea, dar lo que antes hemos llamado una explicación.

---

## BIBLIOGRAFIA

- «Física Básica Nuffield». Ed. Reverté.  
HOLTON, G.: «Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas». Ed. Reverté.  
BAEZ, A. V.: «The New College Physics». Freeman.  
ROGERS, Eric: «Physics for the inquiring mind». Princeton.  
POPPER, K. R.: «La lógica de la investigación científica». Ed. Tecnos.  
BRAITHWITE, R. B.: «La explicación científica». Ed. Tecnos.  
SMART, J. C.: «Entre ciencia y filosofía». Ed. Tecnos.  
KUHN, T. S.: «La estructura de las revoluciones científicas». E. C. E.  
POINCARÉ, H.: «Ciencia y método». Austral.  
POINCARÉ, H.: «La ciencia y la hipótesis». Austral.  
Sir EDDINGTON, A. S.: «La filosofía de la ciencia física». Ed. Sudamericana.  
HANSON, N. R.: «Patrones de descubrimiento». Alianza Editorial.

# Introducción analógica al estudio del movimiento armónico simple

Por Enrique PORTO ARCEO (\*)

## RESUMEN

El estudio del movimiento armónico simple en los niveles de Bachillerato y C. O. U. presenta serias dificultades debido fundamentalmente a dos factores. El primero, la falta de conocimientos matemáticos, por parte del alumno, que impiden afrontar su estudio por un procedimiento deductivo a partir de la ecuación de la aceleración del movimiento. Para salvar esta deficiencia, la mayoría de los autores lo estudian por medio de las proyecciones sucesivas sobre un eje de las posiciones que adopta una partícula que describe un movimiento circular uniforme.

El segundo factor, ya más de fondo que de forma, se encuentra en la necesidad de introducir y cuantificar nuevos conceptos como son: elongación, frecuencia, fase, etc.

El presente trabajo aborda el estudio del movimiento armónico simple de forma inductiva por comparación analógica de las representaciones gráficas de la elongación frente al tiempo, con las funciones seno y coseno. Con él se ha tratado de evitar la asociación de este movimiento con el circular uniforme, que tan frecuentemente lleva al alumno a confusión. Asimismo, se busca introducir de la forma más clara posible el concepto de fase, y por último establecer una clara relación entre la ecuación matemática y el movimiento.

La fuerza exterior deformadora necesaria para producir un alargamiento,  $x$ , en un muelle (fig. 1) es directamente proporcional a éste; si suponemos las magnitudes vectoriales positivas cuando son medidas de izquierda a derecha, dicha fuerza viene dada por la expresión:

$$F_d = k \cdot x$$

siendo  $k$  una constante de proporcionalidad denominada constante elástica. Esta expresión constituye la ley de Hooke (es fácilmente comprobable en una

sencilla experiencia de cátedra mediante un dinamómetro).

La fuerza efectuada en sentido contrario por el dinamómetro se denomina «fuerza recuperadora», y es:  $F_r = - F_d$ , por tanto:

$$F_r = - k \cdot x$$

Supongamos ahora que sobre un muelle que se encuentra en su estado de equilibrio natural, y al que se ha unido en su extremo una masa,  $m$ , (fig. 2a), actúa una fuerza exterior deformadora,  $F_d$ , produciendo un alargamiento  $A$ , (fig. 2b). En esta posición se alcanza una situación de equilibrio entre  $F_d$  y  $F_r$ .

El trabajo realizado por la fuerza variable  $F_d$  al desplazarse a lo largo del espacio  $A$  ha quedado en su totalidad almacenado, en forma de energía potencial, en la deformación del muelle, ya que no existen otras fuerzas exteriores actuando sobre el sistema.

Si cesa  $F_d$ , esto es, si dejamos en libertad el sistema, la masa  $m$  quedará sólo bajo la acción recuperadora del muelle,  $F_r$ , iniciándose el movimiento de ésta hacia la posición de equilibrio con una aceleración, de la misma dirección que la fuerza, y de valor proporcional a ésta.

A medida que el cuerpo se aleja de la posición  $A$ , y se acerca a la posición de equilibrio,  $F_r$  se hace menor (Ley de Hooke), y por tanto disminuye el valor de la aceleración ( $F = m \cdot a$ ), no obstante su velocidad aumenta en valor absoluto debido a la existencia de la aceleración. Durante este trayecto la energía potencial almacenada en la deformación del muelle se transforma en energía cinética que es puesta de manifiesto por el aumento de velocidad de la masa  $m$ .

Cuando se alcanza la posición de equilibrio se hace cero el alargamiento,  $x$ , cesa por tanto  $F_r$ , y como consecuencia la aceleración. No obstante y aprovechando la energía cinética que posee el cuerpo se inicia de nuevo la deformación del muelle, que en este caso es un acortamiento de su longitud inicial,

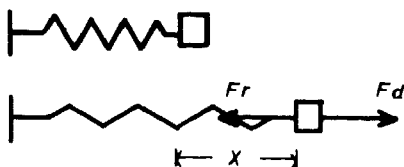


Figura 1

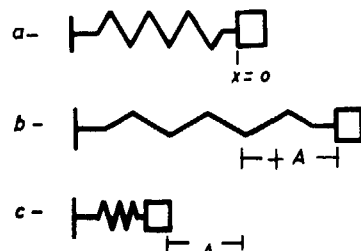


Figura 2

(\*) Profesor agregado de Física y Química del I. B. Polígono de Coya (Vigo).



CUADRO 1

| x            | $F_r$ |              | a     |              | v     |              | Energía potencial | Energía cinética |
|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------------------|------------------|
|              | signo | valor absol. | signo | valor absol. | signo | valor absol. |                   |                  |
| A            | neg.  | máximo       | neg.  | máximo       | —     | cero         | máxima            | cero             |
| entre A y O  | neg.  | decrece      | neg.  | decrece      | neg.  | crece        | decrece           | crece            |
| O            | —     | cero         | —     | cero         | neg.  | máxima       | cero              | máxima           |
| entre O y -A | pos.  | crece        | pos.  | crece        | neg.  | decrece      | crece             | decrece          |
| -A           | pos.  | máxima       | pos.  | máximo       | —     | cero         | máxima            | cero             |
| entre -A y O | pos.  | decrece      | pos.  | decrece      | pos.  | crece        | decrece           | crece            |
| O            | —     | cero         | —     | cero         | pos.  | máxima       | cero              | máxima           |
| entre O y A  | neg.  | crece        | neg.  | crece        | pos.  | decrece      | crece             | decrece          |

(Téngase en cuenta el convenio de signos fijado al principio)

transformándose, a medida que se produce ésta, la energía cinética en potencial, almacenada en dicho acortamiento.

A medida que el muelle se comprime nace de nuevo la fuerza recuperadora, pero en este caso dirigida de izquierda a derecha. Aparece como consecuencia una aceleración en el mismo sentido y que crece a medida que aumenta  $F_r$ , por tanto, a medida que aumenta la deformación. A causa de esta aceleración (dirigida de izq. a drcha.) la velocidad disminuye paulatinamente, llegando a ser cero cuando el cuerpo alcance la posición -A, (fig. 2c). En este momento toda la energía cinética se ha vuelto a transformar en energía potencial, y se inicia de nuevo el recorrido desde la posición -A a la +A, repitiéndose, si no existen fuerzas exteriores, el proceso indefinidamente.

En el cuadro 1 se estudia la variación de la fuerza, aceleración, velocidad y energías cinética y potencial con la distancia, x, desde el cuerpo a la posición de equilibrio.

Tanto la teoría como la experiencia demuestran que el movimiento tiene un alcance  $\pm A$  a cada lado de la posición de equilibrio y que cada movimiento de ida y vuelta se efectúa en el mismo tiempo. Cualquier tipo de movimiento que se repita, con todas sus constantes, en intervalos de tiempos iguales se denomina «periódico», y si se efectúa hacia adelante y hacia atrás sobre la misma trayectoria, se denomina «oscilatorio».

Este tipo de movimiento, de trayectoria rectilínea, donde de no haber pérdidas exteriores de energía por rozamiento continuaría indefinidamente, y que se realiza bajo la acción de una fuerza recuperadora elástica proporcional al desplazamiento del móvil con respecto a un punto de equilibrio y dirigida hacia este punto se denomina «Movimiento Armónico Simple», y se designa abreviadamente por M. A. S.

Nos encontramos pues ante un movimiento donde se recorre periódicamente el mismo espacio, de +A a -A, bajo la acción de una fuerza, y con velocidad y aceleración todas ellas variables, cuyos valores se repiten periódicamente. Por ello, y a diferencia de otros movimientos no es tan importante conocer el espacio recorrido en un tiempo determinado, el tiempo transcurrido desde el comienzo del movimiento, o los valores alcanzados por la velocidad y aceleración en ese tiempo, como la posición, la velocidad y la aceleración del móvil en un determinado instante de la vibración. Todo ello nos obliga a introducir los siguientes conceptos y magnitudes nuevos con respecto a otros movimientos:

La elongación, x, es la distancia desde cualquier posición que ocupe el móvil en su oscilación a la posición de equilibrio. Puede tomar valores positivos y negativos.

La amplitud, A, es la elongación máxima. La distancia entre las dos posiciones extremas es, por tanto, 2A.

Fase es el estado de la vibración en que se encuentra el móvil. Queda determinada por la elongación y la velocidad o aceleración. No es posible fijarla solamente por la elongación debido a que a cada valor de ésta corresponden dos, de la misma magnitud y distinto signo, para la velocidad y aceleración.

Oscilación, vibración completa o ciclo es el espacio recorrido por el móvil entre que éste adopta dos fases iguales de la vibración.

El período del movimiento, T, es el tiempo invertido en realizar una oscilación completa.

La frecuencia, f, es el número de oscilaciones completas que se efectúan en la unidad de tiempo; se mide en ciclos/seg., y esta unidad se denomina Hertz.

Evidentemente la frecuencia es inversa del período:

$$f = 1/T$$

Hemos de encontrar ahora una ecuación matemática que nos permita el cálculo de la elongación, x, en cualquier instante t:

$$x = F(t)$$

Supongamos un movimiento armónico simple de período T segundos y amplitud A unidades de longitud. Como el movimiento es periódico e indefinido hemos de fijar el origen del tiempo, y lo hacemos, de forma arbitraria tomando  $t = 0$ , cuando  $x = A$  (más adelante se tratará este problema con mayor profundidad).

Si fotografiamos, en exposición, el sistema de la figura 2 iluminado por una luz estroboscópica de frecuencia  $20/T$  destellos por segundo (la relación entre la frecuencia de la luz y el período del M. A. S. es fácil de establecer una vez conocidos ambos), podemos obtener, del análisis de la fotografía, la siguiente tabla de valores:

|      |        |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t(s) | T/20   | 2T/20  | 3T/20  | 4T/20  | 5T/20  |
| x    | 0,95A  | 0,8A   | 0,59A  | 0,30A  | 0      |
| t(s) | 6T/20  | 7T/20  | 8T/20  | 9T/20  | 10T/20 |
| x    | -0,30A | -0,59A | -0,80A | -0,95A | -A     |

representando gráficamente estos datos obtenemos en la gráfica 1 de la figura 3 el intervalo correspondiente a los valores del tiempo comprendidos entre 0 y  $T/2$ . El resto de la representación gráfica se obtiene por simetría.

Representemos ahora, paralelamente y haciendo coincidir los orígenes, la función  $y = \cos x$  frente al ángulo  $x$  expresado en radianes, tomando sobre el eje de abscisas la misma longitud para un tiempo de  $T$  segundos que para un ángulo de  $2\pi$  radianes (gráfica 2, fig. 3).

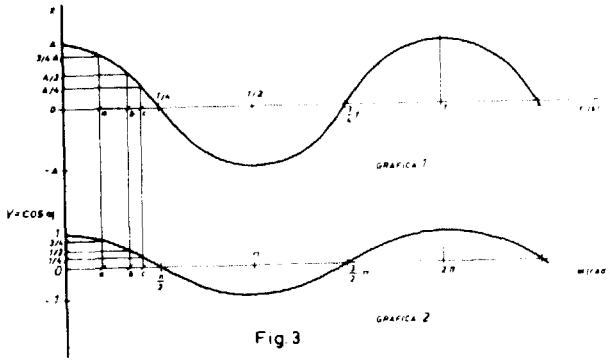


Fig 3

Trataremos de encontrar la ecuación a la que responde la línea representada en la gráfica 1 estudiando las analogías que presenta con la gráfica 2, cuya ecuación es conocida.

Si observamos detenidamente ambas representaciones notaremos que la 1 tiene la misma forma que la 2, por lo que ha de tratarse también de una función cosenoidal con las diferencias:

a) Las ordenadas de la gráfica 1 oscilan entre  $\pm A$  mientras que las de la 2 lo hacen entre  $\pm 1$ .

b)  $f(t)$  no puede ser una función trigonométrica directa del tiempo, del tipo  $\cos(t)$ , ya que para adoptar esta función todo el espectro de valores correspondiente a la circunferencia trigonométrica, tiene  $t$  que adoptar todos los valores comprendidos entre 0 y 360 s. Mientras que la elongación recorre todos los valores correspondientes a una oscilación completa en  $T$  segundos.

Hemos pues de introducir en la ecuación correspondiente a la gráfica 2 estas dos correcciones, y para ello planteamos una ecuación del tipo:

$$x = \psi \cos \varphi(t)$$

donde quedan introducidas por medio de las funciones correctoras  $\psi$  y  $\varphi$ .

Consideremos la primera de ellas, y veamos la analogía existente entre las ordenadas de ambas gráficas. Para ello estudiaremos las ordenadas que corresponden a una misma longitud sobre el eje de abscisas:

| Longitud de abscisa | Ordenada de la gráfica 1 (x) | Ordenada de la gráfica 2 (y) |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| a                   |                              |                              |
| 3/4                 | 3/4A                         | 3/4                          |
| b                   | A/2                          | 1/2                          |
| c                   | A/4                          | 1/4                          |

según esta tabla de valores la relación existente entre ambas es:

$$x = A \cdot y$$

esto es, para una misma longitud de abscisa en la gráfica 1 corresponde una ordenada  $A$  veces mayor que en la gráfica 2.

Por analogía podemos concluir que el valor de la elongación nos viene dado por el producto de la amplitud,  $A$ , y el coseno de la función que nos establezca la relación analógica entre abscisas:

$$x = a \cdot \cos \varphi(t)$$

Tratemos ahora de encontrar la función  $x(t)$ .

Mientras en la gráfica 1 la abscisa varía de 0 a  $T$ , esto es, el tiempo que tarda el móvil en dar una oscilación completa, en la gráfica 2 lo hace de 2 a  $2\pi$  (una circunferencia completa expresada en radianes). Podemos establecer entre ambas la correlación siguiente: «Una oscilación completa en la gráfica 1 corresponde por analogía a  $2\pi$  radianes en la 2.» Ahora bien, interesa para su aplicación general extender la analogía a un número cualquiera de oscilaciones.

El número total de oscilaciones dadas por un móvil en un intervalo de tiempo  $t$ , durante un M. A. S., viene dado por el producto de la frecuencia,  $f$  (ciclos/s.), y  $t$  expresado en s. Así, si a una oscilación completa corresponden análogicamente  $2\pi$  radianes, y a dos oscilaciones  $4\pi$ , a un número cualquiera de oscilaciones,  $f \cdot t$ , corresponden  $2 \cdot \pi \cdot f \cdot t$  radianes, y la función analógica, por tanto, que nos introduce la segunda de las correcciones es:

$$(t) = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t$$

De todo ello deducimos que la ecuación matemática a la que corresponde la representación gráfica 1 de la figura 3 es:

$$x = A \cdot \cos(2\pi f t)$$

ecuación que nos permite conocer la posición,  $x$ , de un móvil que sufre un M. A. S. en función de un intervalo de tiempo  $t$ , cuyo origen, como decíamos al principio, fijábase arbitrariamente en función de la posición del móvil (figura 4).

Estudiemos ahora sobre la gráfica de la figura 4 (donde en abscisas hemos representado a la vez  $t$ (s) y  $\varphi$ (rad)), una serie de puntos que representan distintas fases del movimiento, las cuales vienen determinadas por la elongación y velocidad del móvil:

Punto a: El móvil posee una elongación  $x = A$ , y velocidad cero. Se encuentra a punto de iniciar el movimiento de retroceso hacia la posición de equilibrio.

Punto b: La elongación es  $x_1$  y la velocidad tiene un valor  $v_b$  dirigida hacia la posición de equilibrio.

Punto c: La elongación es cero, el móvil se encuentra en la posición de equilibrio, la velocidad alcanza su valor absoluto máximo y está dirigida hacia  $-A$ .

Punto d: La elongación es  $-x_2$ , la velocidad  $v_d$  dirigida hacia  $-A$ .

Punto e: La elongación se hace aquí igual a  $-A$ , la velocidad es cero. En este punto cambia el sentido del movimiento.

Punto f: La elongación vale  $-x_2$ , igual que en el punto d, su velocidad es también  $v_d$ , pero en este caso dirigida hacia  $+A$ .

La determinación de la fase mediante la elongación y velocidad del móvil resulta poco cómodo y menos práctico, pero si nos fijamos en la figura 4, cada una de las distintas fases estudiadas tiene una correspondencia analógica con un número, y sólo

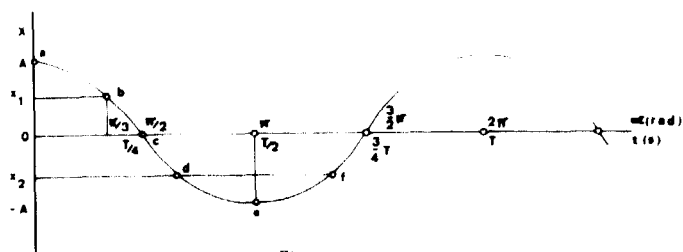


Figura 4

uno, determinado de radianes, que son los que corresponden al número de oscilaciones dadas según la expresión  $2\pi ft$ . De esta forma es posible fijar la fase de la vibración por el número total de radianes correspondidos.

La expresión  $2\pi ft$ , en donde:

$2\pi$ : representa el número de radianes que corresponden a una oscilación completa.

$f$ : número de ciclos completos dados en unidad de tiempo (s), y

$t$ : tiempo transcurrido.

representa el número total de radianes (análogos) que corresponden a las oscilaciones recorridas en el tiempo  $t$ .

Por tanto la fase de la vibración nos queda dada por la expresión matemática  $2\pi ft$ , y podemos de esta forma medirla en radianes. Así la fase del punto «c» serán  $\pi/2$  radianes, y la del «e»,  $\pi$  radianes.

Anteriormente y de forma arbitraria fijamos el origen del tiempo cuando  $x = A$  (gráfica 2, fig. 5), supongamos que tomamos ahora  $t = 0$  cuando  $x = 0$ , y el móvil se dirige hacia  $+A$ . La representación gráfica del movimiento, considerando este origen del tiempo, es la dada en la figura 5, gráfica 1. Esta gráfica es de tipo sinusoidal, por tanto un razonamiento similar al anterior nos daría una ecuación general para el movimiento del tipo:

$$x = A \cdot \text{sen}(2\pi ft)$$

Comparando ambas gráficas obtenemos la siguiente relación de valores:

| t    | $x_1$ en gráf. 1 | $x_2$ en gráf. 2 |
|------|------------------|------------------|
| 0    | 0                | A                |
| T/4  | A                | 0                |
| T/2  | 0                | -A               |
| 3/4T | -A               | 0                |

Observamos que la elongación,  $x_1$  de la gráfica 1 toma los mismos valores que  $x_2$  en la gráfica 2 un tiempo de  $1/4T$  segundos después, esto es, va retrasada un cuarto de período o de oscilación, por tanto, análogamente  $\pi/2$  radianes. Podemos pues decir que hemos tomado el origen de tiempos  $\pi/2$  radianes desfasado con respecto al origen anterior.

Supongamos ahora que las gráficas 1 y 2 de la figura 5 corresponden a dos M. A. S. diferentes, que poseen el mismo período,  $T$ , y la misma amplitud,  $A$ , a los que denominaremos movimientos 1 y 2 respectivamente. Las ecuaciones generales de ambos son:

$$1) \quad x_1 = A \cdot \text{sen}(2\pi ft) \quad 2) \quad x_2 = A \cdot \text{cos}(2\pi ft)$$

para poder comparar las dos ecuaciones consideremos que:

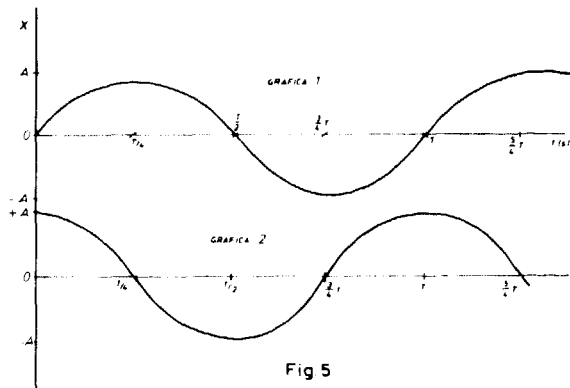


Fig 5

$$\text{cos}(2\pi ft) = \text{sen}(2\pi ft + \pi/2)$$

de donde,

$$x_1 = A \cdot \text{sen}(2\pi ft) \quad \text{y} \quad x_2 = A \cdot \text{sen}(2\pi ft + \pi/2)$$

vemos, pues, que la fase del movimiento 2 es  $\pi/2$  radianes mayor que la del 1. Diremos por tanto que va desfasado y adelantado  $\pi/2$  radianes con respecto al movimiento 1.

Comprobamos así que la forma de la ecuación general del movimiento depende de la fase donde se fija el origen del tiempo. Para generalizar escribamos la ecuación general de la forma:

$$x = A \cdot \text{cos}(2\pi ft + \varphi_0)$$

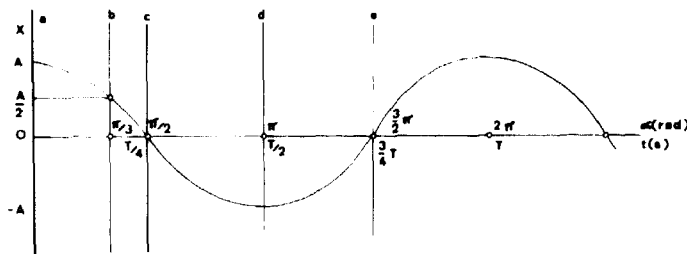


Figura 6

en donde a  $\varphi_0$  se le denomina fase inicial del movimiento, y es el número de radianes que corresponden a la diferencia entre la fase que tomamos como origen del tiempo y la dada por  $x = A$  y  $v = 0$ .

En el cuadro 2 se estudian las distintas ecuaciones generales que corresponden a cinco M. A. S. del mismo  $T$  y  $A$ , cuyas fases iniciales para el instante  $t = 0$  vienen indicadas en la figura 6.

Las expresiones de la velocidad y aceleración pueden obtenerse ahora por derivación de la ecuación de la elongación:

$$v = \frac{dx}{dt} = -2fA \cdot \text{sen}(2\pi ft + \varphi_0)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -4\pi^2 f^2 A \cdot \text{cos}(2\pi ft + \varphi_0) = 4\pi^2 f^2 x$$

CUADRO 2

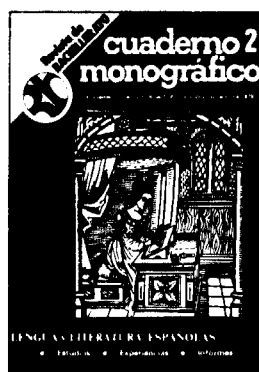
|   | t | x inicial      | $\phi_0$ | Ecuación general                          |
|---|---|----------------|----------|---|
| a | 0 | A              | 0        | $x = A \cdot \text{cos}(2\pi ft)$         |
| b | 0 | A/2 (hacia -A) | $\pi/3$  | $x = A \cdot \text{cos}(2\pi ft + \pi/3)$ |
| c | 0 | 0 hacia -A)    | $\pi/2$  | $x = A \cdot \text{cos}(2\pi ft + \pi/2)$ |
| d | 0 | -A             | $\pi$    | $x = A \cdot \text{cos}(2\pi ft + \pi)$   |
| e | 0 | 0 (hacia A)    | $3/2\pi$ | $x = A \cdot \text{cos}(2\pi ft 3/2\pi)$  |

CUADERNOS MONOGRAFICOS DE LA "REVISTA DE BACHILLERATO"



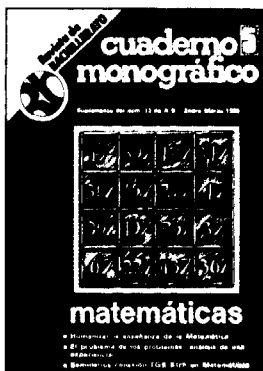
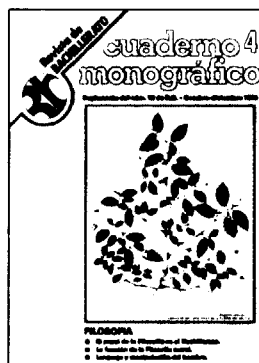
Número 1  
Geografía  
e Historia

Número 2.  
Lengua y literatura  
españolas.



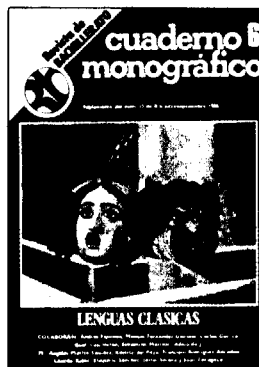
Número 3.  
Ciencias  
de la Naturaleza

Número 4.  
Filosofía



Número 5.  
Matemáticas

Número 6.  
Lenguas clásicas



Precio de cada ejemplar: 160 ptas.  
Suscripción a la «Revista de Bachillerato» (4 números normales  
y 2 monográficos: 800 ptas).

Edita: SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE EDUCACION

Venta en: Planta baja del Ministerio de Educación. Alcalá, 34. Madrid-14.  
Paseo del Prado, 28. Madrid-14.

Edificio del Servicio de Publicaciones. Ciudad Universitaria, s/n; teléfono 449 77 00. Madrid-3.

# Trabajo en el laboratorio

## «Proyecto de trabajo» y «Problemas prácticos»

Por M.<sup>a</sup> Teresa MARTIN SANCHEZ (\*)

Entre las diversas definiciones que encontramos en la literatura de «proyecto de trabajo», nos parece la más aceptable la de Armstead, en una conferencia en la Universidad de Reading (Inglaterra), en 1975, que lo considera como: «Un trabajo extenso, identificado y discutido por el profesor y el alumno, y que el propio alumno toma fundamentalmente bajo su iniciativa, con consultas regulares y ocasionales al profesor.»

El «proyecto de trabajo» se ha utilizado en la mayoría de los centros universitarios como medio para conseguir una graduación de licenciatura o doctorado, siendo en estos casos un trabajo inédito en cuanto al tema o en cuanto a la forma de realizarlo; sin tantas pretensiones, sobre temas elementales y conocidos se podría utilizar como final de cualquier período de enseñanza: Bachiller, C.O.U. De hecho, se utiliza con frecuencia, en enseñanza secundaria en países como Inglaterra, Escocia, Alemania, Dinamarca, Israel, etc.

Únicamente se podría realizar con alumnos que han trabajado en el laboratorio y que conocen las técnicas más elementales de trabajo experimental y el manejo de los instrumentos de uso más frecuente.

Frente a cualquier otro tipo de trabajo se puede considerar que tiene las siguientes ventajas:

- El alumno debe planificar su propio trabajo y esto le obliga a saber utilizar su libertad de elección y a desarrollar su imaginación para hacer el «proyecto». Desarrolla la creatividad.
- No se sabe «a priori» lo que va a salir, por eso su capacidad de observación e interpretación deberán trabajar al máximo.
- Es mucho más amplio que cualquier otro tipo de trabajo lo que le lleva a la utilización de una variada gama de técnicas y la consulta de «bibliografía» adecuada.
- Coloca al alumno en la situación más parecida posible a una «investigación» real.
- Le da al alumno la posibilidad de hacer en lugar de la posibilidad de escuchar, que es la que tiene corrientemente.

Teniendo en cuenta estas características y que hoy, más que nunca, en cualquier nivel de enseñanza, es más importante aprender a estudiar y a trabajar que aprender determinados conceptos, que en un plazo relativamente pequeño van a estar pasados de moda, creemos que está justificada la utilización de este método de trabajo.

En la realización podríamos considerar como fundamentales las siguientes etapas:

- El profesor propone al alumno un tema de trabajo, o incluso, en algunos casos, el propio alumno puede buscar el título de su trabajo.
- El alumno consulta la bibliografía disponible, y con ella como base, hace un esquema o programa sobre los aspectos fundamentales de que va a consistir su trabajo.
- El alumno plantea al profesor su programa de trabajo, y después de discutirlo, se llega a concretar los puntos que se deben realizar y los que no tienen demasiado interés o serían irrealizables con los medios disponibles.
- El alumno consulta de nuevo la bibliografía con objeto de buscar la forma más adecuada de realizar la parte experimental del trabajo: debe concretar las experiencias que va a realizar, cómo las va a realizar, dispositivos que tiene que utilizar, datos que le interesa medir o tomar, etc.
- El profesor «da luz verde» y el alumno comienza a trabajar bajo la supervisión del profesor, quien además de observar cómo trabaja el alumno, periódicamente revisará sus cuadernos de notas o tendrá una entrevista para comentar lo que está haciendo.
- El alumno describe el trabajo realizado y redacta las conclusiones.

En cuanto a la forma de realizar este trabajo nos inclinamos porque sea un trabajo individual y recomendable para alumnos aventajados. Al mismo tiempo, el resto de los alumnos de la clase podrían trabajar en la resolución de problemas más concretos y más cortos, de los que hablaremos más tarde. No obstante, en algunos casos, y dependiendo fundamentalmente del tema elegido, y de las circunstancias de la clase, se podría aconsejar que participaran todos los alumnos, distribuidos en grupos de cuatro a seis alumnos, como máximo, de tal forma que cada grupo de alumnos trabajara sobre un aspecto del tema y al final se discutieran los resultados a nivel de toda la clase. En este caso la agrupación de los alumnos se podría hacer de tal forma que en cada grupo interviniera alguno de los alumnos más aventajados, no obstante, en la práctica la forma que más resultado nos ha dado ha sido dejarlos agrupar a ellos como quisieran. Siempre es posible que alguno de los grupos sea necesario llamarlo al orden o porque no trabajan o porque encima de no trabajar incordian. De todas formas únicamente se podrá llevar a cabo este tipo de trabajo si el «laboratorio», y

(\*) Profesora de Física y Química de la Universidad Laboral de Zamora.

en general la clase, tiene un «alto grado de organización». La organización del laboratorio debe estar de tal forma que los alumnos puedan localizar lo que necesiten fácilmente con ayuda de unas indicaciones. El material y los productos estarán colocados en armarios numerados y con estanterías numeradas. En varios lugares, fácilmente accesibles, del laboratorio (puede ser en las mismas paredes o puertas de los armarios) habrá relaciones alfabéticas que indiquen la situación del material y de los productos. Los productos en la etiqueta llevarán además del nombre y la fórmula, una etiqueta que indica el armario y la tabla donde están situados, para que cada vez que se usan sin necesidad de volver a consultar la relación se puedan volver a su sitio. Se exigirá que los alumnos respeten rigurosamente este orden y aquí jugará papel importante la personalidad del profesor. Bastará que se preocupe de hacer respetar el orden los primeros días, hasta que los alumnos se habitúen a colocar cada cosa en su sitio y comprueben lo agradable que resulta para todos esta forma de actuar, que al mismo tiempo evita la pérdida de tiempo en buscar las cosas fuera de sitio.

Si no se dispone de biblioteca la BIBLIOGRAFIA se consultaría en el mismo laboratorio, a poder ser en una habitación que no sea la de experimentos (podría ser el despacho del profesor, si lo tiene). Si el centro tiene biblioteca sería más práctico que la bibliografía se consultara en la BIBLIOTECA, y si es posible en las horas que los alumnos tienen libres.

En cuanto a los temas propuestos nos inclinamos porque se tienda a una integración posible de varias materias, por supuesto «Física» y «Química», pero si es posible se buscaría una integración con «Ciencias Naturales», e incluso si el tema se presta, se podría hacer un estudio sociológico. Sería necesaria la participación o colaboración de otros profesores.

Un ejemplo concreto de tema para un «proyecto de trabajo» a nivel de secundaria podría ser «estudio de las propiedades físicas y químicas del aluminio». Después de darle el título del tema el alumno debe consultar los libros de química para hacer una relación de las «propiedades físicas y químicas» (conductibilidad, densidad, comportamiento frente a ácidos, bases, etc.). Le presenta al profesor la relación de propiedades y quedan de acuerdo en las que debe medir o comprobar. Consultando de nuevo la bibliografía deberá diseñar los experimentos que le permitirán realizar el programa propuesto. La exposición de la forma en que piensa realizar los experimentos deberá ser muy detallada, indicando: material, productos, montajes, fuentes de alimentación eléctrica... de tal forma que el profesor pueda darse cuenta si va a trabajar con unas condiciones de seguridad y sin ningún riesgo para él y para sus compañeros. El alumno realiza los experimentos y toma los datos necesarios para llegar a su objetivo. Por último redacta en su cuaderno lo que ha hecho y las conclusiones a que ha llegado, incluyendo una reseña bibliográfica.

Este mismo proyecto se puede realizar sustituyendo el aluminio por otro material de uso corriente, por ejemplo el material sintético que se usa para embalar.

Otros temas podrían ser:

- Características de detergentes, pastas de dientes, más usados.
- Comportamientos de distintos materiales utilizados para envases frente a la corrosión (envases de conservas, pastas de dientes, betunes...).

- Estudio experimental de los glúcidos (caracterización, propiedades físicas y químicas, hidrólisis...).
- Estudio de la polución (presencia de  $\text{SO}_2$ , acidez del agua de lluvia, polvo, presencia de detergentes en el agua, etc.).
- Estudio del tiempo atmosférico (medida de humedad, temperatura, presión, diseñando aparatos o métodos hechos por el propio alumno...).
- Fabricación de productos de limpieza a base de los productos químicos disponibles, estudiando la solubilidad, corrosión, coste, riesgos de aplicación.

Los criterios fundamentales para valorar este tipo de trabajos serían tener en cuenta:

- El entusiasmo en la realización.
- Los conocimientos aplicados en el planteamiento.
- En qué extensión ha consultado la bibliografía disponible.
- La originalidad del planteamiento.
- La destreza en el desarrollo: capacidad para observar y tomar datos.
- Cómo es el resumen escrito: si verdaderamente describe lo que ha realizado.
- Cuál ha sido la interpretación de los resultados y a qué conclusiones ha llegado.

Como complementario de este método y para utilizar con los alumnos menos avanzados sería interesante el planteamiento de problemas de tipo práctico. Los alumnos de enseñanza media están acostumbrados a resolver problemas teóricos y a pensar siempre sobre datos que se les suministran, sin embargo les cuesta mucho enfrentarse con la resolución de un problema para el que ellos mismos tienen que conseguir datos experimentalmente, este tipo de problemas y con material nada costoso se pueden plantear fácilmente en la asignatura de química.

Uno de los problemas que encontramos todos los días en el laboratorio es lo difícil que les resulta a los alumnos aplicar un fenómeno físico o químico que han comprobado experimentalmente como método para identificar algo cuya naturaleza desconocen, por ejemplo han manejado indicadores ácido-base pero les resulta difícil comprobar experimentalmente si una sustancia puede valer como indicador, conocer la ley de Ohm aplicable a los conductores pero les resulta difícil aplicar la ley de Ohm por su propia iniciativa para saber si algo que tienen en una caja cerrada es un conductor.

Ejemplos de problemas prácticos podrían ser:

- Identificación de un indicador ácido-base (comprobando experimentalmente el viraje y utilizando unas tablas de indicadores).
- Demostrar que en la cáscara de huevo hay carbonato de calcio y medir el tanto por ciento.
- Decidir si una sustancia cristalizada es orgánica o inorgánica utilizando sólo ácido sulfúrico.
- Sin utilizar productos químicos determinar si una sustancia es yoduro de potasio o azúcar (por electrolisis).
- Se les dan cuatro frascos que contienen agua pura, fenoltaleína/ácido clorhídrico y carbonato de sodio. Investigar sin utilizar otros productos en qué frasco está cada sustancia (haciendo las combinaciones posibles).
- Medir la composición de una disolución de sal en agua midiendo la densidad con un densímetro.

Como resumen de este trabajo creemos que la posibilidad de realizar «trabajos» en el «laboratorio» es enorme, y que el que no se realicen no es problema, la mayor parte de las veces, de falta de medios, más bien sería falta de «entusiasmo» por parte del profesor o de ganas de trabajar, porque, sin duda, todo esto supone mucho más trabajo que contar un «rollo».

#### BIBLIOGRAFIA

ARSMTEAD, D. E. F.: «Project work in science». *School Science Review*, vol. 60, núm. 212, March, 1979, página 570.  
JONES, R.: «A formulation laboratory project». *Journal of*

*Chemical Education*, vol. 55, núm. 10, october 1978, pág. 661.

GREATOREX, D., y LISTER, J. M.: «The organization of project work in a mode 3 0-level chemistry course». *School Science Review*, vol. 61, núm. 216, march, 1980, pág. 427.

CLEGG, A. S., y MORLEY, M.: «Applied science—a course for pupils of low educational achievement». *School Science Review*, vol. 61, núm. 216, March 1980, pág. 454.

«The role of laboratory in Physic education». Resumen de la conferencia sobre el mismo tema que tuvo lugar en Oxford, julio 1978, Edit. Jones, J. G., University College, Cardiff y Lewis, J. L., Malvern College, Worcestershire (Inglaterra).

«New trends in physics teaching». Vol. II, Edit. UNESCO. París, 1972.

«New trends in physic teaching». Vol. III, Edit. UNESCO. París, 1976.

NOVEDAD

## ELEMENTOS DE ADMINISTRACION EDUCATIVA

Autores:

Manuel  
DE PUELLES BENITEZ

Julio  
SEAGE MARIÑO

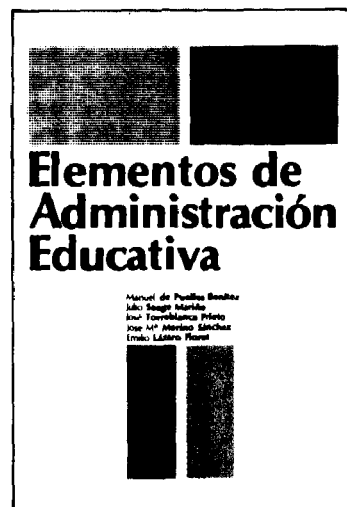
José  
TORREBLANCA PRIETO

José María  
MERINO SANCHEZ

Emilio  
LAZARO FLORES

Indice de la obra:

- I. Administración y Educación.
- II. La administración educativa como organización y como proceso.
- III. Los objetivos. La planificación de la educación.
- IV. La financiación de la educación.
- V. Los recursos humanos en la administración educativa.
- VI. Los recursos físicos en la administración educativa. Construcciones escolares y equipamiento.
- VII. La administración del centro escolar.



17 x 24 cm; 318 págs.  
Precio: 775,— ptas.

EDITA: SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE EDUCACION

Venta en:

Planta baja del Ministerio de Educación. Alcalá, 34. Madrid-14.

Paseo del Prado, 28. Madrid-14.

Edificio del Servicio de Publicaciones. Ciudad Universitaria, s/n; teléfono 449 77 00. Madrid-3.

# Por unos Trabajos prácticos realmente significativos

Por Daniel GIL PEREZ (\*)

## INTRODUCCION

El hecho de que el tratamiento de los aspectos experimentales de la Física y Química haya sido el tema más solicitado, con mucho, para este número monográfico, es buena prueba del interés del profesorado por los trabajos prácticos (T. P.). Pero quizá cabría hablar, más que de interés, de preocupación. En efecto, si bien el trabajo de laboratorio aparece como objetivo fundamental en un curso de Física y/o Química, la realización de prácticas —tal como hemos analizado en otros trabajos (1) (2) (3)— no suele ser *todo lo satisfactoria que podría esperarse*. Muy al contrario, a menudo genera decepción entre los alumnos y los propios profesores, quienes la atribuyen a razones —sin duda parcialmente válidas— de índole material: excesivo número de alumnos, etc.

Por nuestra parte, entre las causas de resultados tan mediocres, apuntábamos la frecuente desconexión entre los T. P. y el desarrollo de la asignatura y, más aún, el carácter de meras manipulaciones (receptas pormenorizadas a seguir por el alumno) que éstos presentan. En efecto, se reproduce la estructura expositiva de la propia clase magistral, en la que el profesor transmite información ya elaborada —en el caso de los T. P., indicación de las manipulaciones a realizar— a alumnos cuya actividad resulta escasamente significativa: el qué se ha de hacer y el porqué es fijado por el profesor o el texto, y al alumno se le pide tan sólo que actúe como un buen laborante, lo que sin duda tiene poco que ver con la «aplicación del método científico» con que se llega a calificar a tales propuestas.

En este trabajo presentaremos un ejemplo de trabajo práctico orientado de forma a corregir algunos de los defectos apuntados. Hemos elegido para ello el estudio de la caída libre de los cuerpos, por estar recogido en la mayoría de los manuales de prácticas y poder mostrar así las diferencias más significativas entre el método que proponemos y los planteamientos habituales.

Presentaremos este T. P. en forma de programa-guía (conjunto de actividades a realizar por los alumnos) e incluiremos comentarios que recogen los resultados de dichas actividades de forma a mostrar la validez y limitaciones del método.

## UN EJEMPLO PARADIGMATICO: ESTUDIO CINEMATICO DE LA CAIDA DE LOS CUERPOS

### INTRODUCCION (Presentada por escrito y/o verbalmente a los alumnos)

Una vez realizado el estudio general de la cinemática (introducción de magnitudes que permiten deter-

minar la posición, cambio de posición, etc., y las relaciones entre las mismas), vamos a ocuparnos de movimientos concretos con objeto de determinar su naturaleza. Comenzaremos por un movimiento que se presenta frecuentemente en la práctica: la caída de los cuerpos.

La importancia de este tipo de movimiento, aparte de su interés práctico, estriba en que, en cierto modo, puede asociarse el surgimiento de la mecánica como ciencia moderna a los estudios cinemáticos realizados por Galileo sobre la caída de los graves.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. EMISION DE HIPOTESIS

Conviene en primer lugar llevar a los alumnos a realizar un análisis del fenómeno —caída de un cuerpo sometido a la resistencia del aire—, limitando el estudio, como hizo el propio Galileo, a un solo aspecto —la caída— y dejando de lado los demás factores —la resistencia del aire.

Una forma de conducir a este análisis, al tiempo que se explicitan las ideas que los alumnos poseen al respecto, consiste en plantear la siguiente actividad:

A.1. ¿Qué puede decirse —partiendo de la experiencia y observaciones cotidianas— a propósito de la caída de los cuerpos?

### COMENTARIOS A.1

Dos núcleos de ideas aparecen en la discusión de los alumnos:

1.º Se trata de un movimiento de rapidez creciente, un movimiento acelerado, llegando algunos alumnos a afirmar que ha de ser uniformemente acelerado, puesto que la velocidad parece crecer de una manera regular. Fácilmente se llega a un acuerdo a este respecto. Conviene hacerles notar que ésta fue la hipótesis concebida por el mismo Galileo y que retendremos para su contrastación.

2.º «Los cuerpos caen tanto más rápidamente (o llevan mayor aceleración) cuanto más pesados son.»

Podría, quizá, pensarse que esta hipótesis no debería aparecer entre alumnos de Bachillerato, dado que ya en E. G. B. se les ha explicado que, si el rozamiento con el aire es despreciable, todos los cuerpos caen prácticamente en el mismo tiempo (desde una misma altura). Pero, de hecho, esta hipótesis —no mencionada en los textos de prácticas habituales—, es formulada por la mayoría de los grupos (y no sólo por alumnos de B. U. P., sino de C. O. U. e incluso universitarios).

No podemos detenernos aquí en el análisis de este resultado aberrante que pone en cuestión el tipo de docencia impartida. Señalemos simplemente el error

(\*) Del I. C. E. de la Universidad de Valencia.



que supone no tener en cuenta que los alumnos llegan ya con ideas y concepciones propias —fruto de las observaciones cotidianas, etc.— y que enseñar no puede consistir simplemente en dar a conocer ideas justas, sino que exige partir de las existentes, bien para reforzarlas, bien para transformarlas. En caso contrario, el aprendizaje escolar no llega a conectar con la estructura cognoscitiva del alumno y los nuevos conocimientos no tardan en desvanecerse.

Por supuesto siempre hay algún alumno que pone en duda lo acertado de esta hipótesis de la influencia de la masa, y ello provoca una interesante discusión sobre el papel del rozamiento del aire, acompañada de observaciones cualitativas de caídas simultáneas de objetos de distintas masas (bolígrafos, libros...) que muestran la escasa diferencia de tiempos.

### FORMULACION OPERATIVA DE HIPOTESIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Con objeto de dejar suficientemente clara la influencia del rozamiento y contrastar al propio tiempo la segunda hipótesis formulada, puede proponerse la siguiente actividad:

A.2. Mostrar de una forma sencilla que una hoja de papel y un libro caen prácticamente en el mismo tiempo si se consigue reducir el rozamiento a que está sometida la hoja.

Como es lógico, aparece la propuesta de hacer el vacío en un tubo transparente, etc. Se trata, naturalmente, de un diseño adecuado, pero no realizable en un laboratorio escolar (el mismo Galileo no pudo proceder a una tal contrastación, ya que la bomba de vacío no había sido aún inventada).

Otras propuestas más factibles son las de arrugar la hoja hasta darle forma de pequeña esfera compacta, o, simplemente, depositarla sobre el libro, con lo que éste evita el roce de la hoja con el aire durante la caída. De esta forma los alumnos llegan a falsar la hipótesis de la relación entre la masa de los objetos y sus tiempos de caída.

Es interesante hacer ver que se ha procedido así a un análisis del fenómeno y a plantear el problema en forma precisa: caída de cuerpos en ausencia de rozamientos. Esto mismo es lo que realizó Galileo, permitiéndole avanzar en el estudio del movimiento. Se superan así las impresiones superficiales de la experiencia cotidiana, que no tiene en cuenta esta intervención del rozamiento, ni procede a análisis alguno, es decir, que no plantea el problema en forma precisa.

En resumen, el problema ha quedado, tras esta discusión, planteado como el «estudio cinemático de la caída de los cuerpos en ausencia de rozamiento» y ha sido falsada la hipótesis de la influencia de la masa de los cuerpos, siendo retenida para su contrastación la otra hipótesis enunciada según la cual «la caída de los cuerpos se realiza con aceleración constante» (o, dicho de otro modo, es un movimiento uniformemente acelerado).

Ahora bien, la contrastación de que la caída de los cuerpos, en ausencia de rozamiento, es un movimiento de aceleración constante no puede ser realizada directamente, es decir, midiendo la aceleración, por lo que es preciso derivar a partir de dicha hipótesis, alguna consecuencia lógica que sí sea contrastable.

A.3. Derivar, a partir de la hipótesis según la cual la caída de los cuerpos es un movimiento uniforme-

mente acelerado —cuyas ecuaciones, recordemos, ya han sido estudiadas— alguna consecuencia contrastable experimentalmente.

### COMENTARIOS A.3

La propuesta de los alumnos —que ya han estudiado las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado—, es utilizar la ecuación  $e = 1/2 at^2$ , que establece una proporcionalidad directa entre el espacio  $e$  y el cuadrado de los tiempos  $t^2$ . Se trata, en definitiva, de medir espacios y tiempos, lo que, en principio, no plantea dificultades.

A.4. Sugerir un experimento sencillo, realizable en el laboratorio, para comprobar si la relación entre la altura desde la que cae un cuerpo (medida desde el suelo) y el tiempo  $t$  invertido en la caída, cumple la proporcionalidad  $e = K t^2$  (de acuerdo con la ecuación de un movimiento uniformemente acelerado sin rapidez inicial).

### COMENTARIOS A.4

De entrada los alumnos proponen dejar caer un cuerpo (una pequeña esfera) desde distintas alturas y medir, para cada una de ellas, el tiempo empleado, comprobando si los valores obtenidos se ajustan a la relación prevista entre ambas magnitudes. No es difícil entonces hacer ver que los tiempos de caída resultan tan pequeños que no son posibles medidas precisas de los mismos, por lo que se hace necesario «debilitar» la caída, de forma que los tiempos sean mayores y puedan medirse con mayor comodidad y precisión. El «debilitamiento», por supuesto, no deberá estar basado —convendrá prevenir— en la introducción de rozamiento, lo que alteraría la naturaleza del movimiento, tal como se ha discutido en el planteamiento del problema.

A.5. Sugerir algún procedimiento para «debilitar» la caída de un grave —sin recurrir a rozamientos que alteren su naturaleza—, de forma a hacer factible la medida de los tiempos de caída.

### COMENTARIOS A.5

La propuesta más común es ahora la utilización de un plano inclinado por el que puede deslizarse una pequeña esfera. Se trata —y conviene resaltarlo— del montaje utilizado por Galileo. El diseño debe ser completado para tener en cuenta las posibles desviaciones de la esfera (lo que lleva a ver la necesidad de una hendidura longitudinal en el plano inclinado), etc.

### REALIZACION DEL EXPERIMENTO

A.6. Proceder a realizar el experimento diseñado.

### COMENTARIOS A.6

Durante esta etapa de manipulación en el laboratorio, y pese a la discusión del diseño que la ha precedido, surgen todavía pequeños problemas técnicos que deben ser resueltos. Por ejemplo:

a) ¿Cómo soltar la esfera para no comunicarle velocidad inicial?

Una forma que los alumnos sugieren es colocar una regla u otro pequeño objeto similar como tope delante de la esfera y retirarla de golpe para iniciar el movimiento.

b) ¿Cómo medir con precisión el intervalo de tiempo desde que se pone en movimiento la esfera hasta que ha recorrido la distancia fijada?

Conviene en primer lugar que el operador que retira el tope colocado ante la esfera sea el mismo que pone en marcha el cronómetro. Por otra parte, interesa colocar otro tope al final del plano de forma que el choque de la esfera con dicho tope sirva de señal para parar el cronómetro.

## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A.7. Proceder al tratamiento e interpretación de los datos obtenidos mediante el experimento.

### COMENTARIOS A.7

Los alumnos proceden a tabular los valores de las distancias recorridas sobre el plano y los valores correspondientes de  $t^2$ , construyendo a continuación la gráfica e frente a  $t^2$ , con lo que se obtiene —dentro de los márgenes de imprecisión— una línea recta que verifica la hipótesis emitida.

Conviene, por último, que los alumnos elaboren un informe lo más completo y ordenado posible del trabajo realizado.

A.8. Elaborar un informe lo más completo posible del trabajo realizado, desde el planteamiento del pro-

blema a las perspectivas abiertas por los resultados obtenidos.

### COMENTARIOS A.8

Esta es una actividad que consideramos debe incluirse en cada una de las pequeñas investigaciones que se realicen, puesto que proporcionarán una visión de conjunto y habituará a la expresión escrita, a la comunicación de los resultados, en la que los alumnos encuentran no pocas dificultades.

## CONCLUSIÓN

A través del ejemplo desarrollado hemos pretendido mostrar una propuesta de transformación de los trabajos prácticos —que habitualmente no pasan de ser simples «recetas para laborantes»— en verdadera ocasión para aplicar la metodología científica, desde una óptica de la pedagogía del redescubrimiento. Para otros ejemplos nos remitimos a las publicaciones ya citadas (1) (2).

## NOTAS

(1) «Trabajos prácticos concebidos como pequeñas investigaciones», M. L. Calatayud, D. Gil et Al. Simposio de Didáctica de la Física y de la Química (INCIE, Madrid, 1979).

(2) «Trabajos prácticos de física como pequeñas investigaciones», M. L. Calatayud, D. Gil et Al. (I.C.E. Universidad de Valencia, 1980).

(3) «Trabajos prácticos de Química como pequeñas investigaciones», M. L. Calatayud, C. Furió et Al. (I.C.E. Universidad de Valencia, 1980).

# PROGRAMACION E INTERDISCIPLINARIEDAD

## Fundamentos de una Programación en Física y Química

Por José FERNANDEZ GONZALEZ (\*) y Dominga TRUJILLO JACINTO DEL CASTILLO (\*\*)

### INTRODUCCION

Se recomienda en general (1), (2) que todas las tendencias educativas deben ser experimentadas y a ser posible elaboradas por profesores de la materia e investigadores de educación conjuntamente, porque siempre pensamos que las orientaciones dadas por los teóricos de gabinetes didácticos sólo adquieren validez cuando se ensayan o extraen de la práctica, porque los avances en materia educativa no tienen la rapidez con que algunos ingenuamente los dotan.

Las Ciencias de la Naturaleza en E. G. B. tienen que ser presentadas de forma atractiva, ya que en este nivel es donde primordialmente se adquieren unas actitudes para el aprendizaje científico, es decir, presentar una programación de «ciencia integrada», ya que este período debe estar orientado a desarrollar en el alumno una actitud de curiosidad respecto al mundo que le rodea, que le lleve a una serie de conocimientos adquiridos por observación y experimentación, e intentar buscar explicación a sus observaciones; en estas programaciones aparecen unas unidades didácticas globalizadas, y precisamente la mayor dificultad en una «programación de ciencia integrada» está en la elección de las unidades integradas y en cómo introducir en ellas las herramientas conceptuales de cada una de las ciencias que el alumno debe manipular a ese nivel (3).

En el Bachillerato interesan más los métodos de trabajo y las ideas fundamentales que la información científica, así en (1) se insistió en la necesidad, hoy más que nunca, de formar a los alumnos para que sean capaces de buscar la verdad por sí mismos en lugar de acumularles conocimientos.

La tendencia actual en un proceso educativo es llegar a una enseñanza individualizada en la que el es-

tudiante vaya aprendiendo a su propio ritmo según su capacidad y actitudes, guiado y orientado por el docente. «Los métodos de enseñanza serán predominantemente activos y tenderán a la educación personalizada.» Estos supuestos implican modificaciones muy profundas en el trabajo del profesor y en el del alumno; el profesor tiene como objetivo primordial la motivación del interés de los alumnos, prestando su ayuda personal a cada alumno, a grupos reducidos o amplios, mediante diálogos, coloquios o explicaciones generales, según los casos. Esto no es nada fácil y, sobre todo, requiere una gran formación científica en el profesor, para crear situaciones ricas en ideas y resolver decorosamente los problemas (siempre imprevisibles) que susciten los alumnos. Muchos conocimientos y técnicas pueden adquirirse por diversas formas tales como «proyectos» o textos programados (2), (4) que representa una notable economía de esfuerzo para el profesor pero paralelamente aumenta la responsabilidad de éste. Aunque en (1) se insiste en que nunca un profesor debe utilizar y seguir un «proyecto» o una «programación» de enseñanza si no está familiarizado con él y no conoce perfectamente su filosofía; se cree que los «proyectos» no se pueden exportar porque las condiciones de cada país son distintas, aunque sí caben ensayos de adaptación. Los investigadores en pedagogía han preconizado, desde hace mucho tiempo, el principio de actividad en el aprendizaje; pero inexplicablemente el trabajo en las ciencias ha distado mucho de ser activo, estando la actividad en Física y Química reducida en muchos casos a la actividad manipulativa fallando en la actividad mental integradora. Los métodos activos implican, por lo que se refiere al alumno, una intensificación de su aportación personal, debiendo esforzarse más que con los métodos tradicionales. El estudiante debe acostumbrarse a trabajar, a discutir los resultados de la experimentación, a adquirir soltura para exponerlos verbalmente ante sus compañeros y profesor.

Un objetivo importante será establecer coordina-

(\*) Catedrático de Física y Química del I. B. del Puerto de la Cruz.  
(\*\*) Encargado de Cátedra de Física de la E. U. I. T. A. de La Laguna.

ciones coherentes entre la Física y Química siendo un programa común, y entre las restantes materias afines como las Ciencias Naturales (Biología y Geología) y la Matemática (utilización de modelos matemáticos). En cuanto a los programas se creen que deben ser los propios profesores y no las autoridades los que elijan los temas a tratar, que a nivel de primaria (E. G. B.) y secundaria (B. U. P.) procurarán que estén relacionados con los temas de la vida diaria.

## FUNDAMENTOS

Las bases de una programación de Física y Química que proponemos se basan en situaciones reales experimentadas con resultado positivo, aunque la presentación conjunta y estricta de todas las actitudes descritas sea un caso ideal, no creemos que debamos abandonar nuestra esperanza en llegar a esta enseñanza, de ahí que se pretenda (5):

1.º Desarrollar a los estudiantes la capacidad de:

a) pensar por sí mismos frente a cuestiones de reflexión,

b) aprender por sí mismos de documentos científicos de información (fichas, apuntes, libros, etc.).

2.º Reducir la pasividad de la enseñanza; facilitando para ello los intercambios entre estudiantes y entre profesor-estudiantes.

3.º Aumentar el rendimiento académico del estudiante.

Como puede verse, se trata de un método que se describe por medio de las siguientes características fundamentales:

— El profesor prepara el acceso a los conocimientos fuera de las horas de clase por una programación detallada: contenido programa, bibliografía para el alumno, prácticas y problemas, fichas, etc.

— Durante la clase hace una superposición de la «clase magistral» tradicional y el «método activo» moderno, actuando algunas veces de animador, ayudando a los grupos retrasados.

— Los ejercicios suministrados previamente se intenta corregirlos a nivel particular, siempre que sea posible, a medida que cada estudiante va encontrando las dificultades.

— El trabajo personal del alumno se lleva a cabo en clase y fuera de las horas de clase, procurando que el alumno una vez finalizada la clase tenga acceso al profesor para resolverle cualquier duda.

Para ello consideramos que los puntos básicos a tener en cuenta para el desarrollo de nuestra programación, con vistas a obtener una guía didáctica de trabajo son:

- (1) Titulación.
- (2) Presentación.
- (3) Objetivos.

(4) Contenido del programa:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{mínimo} \\ \text{general} \end{array} \right.$

- (5) Motivación y enfoque.
- (6) Conocimientos previos.
- (7) Proceso didáctico.

— Tema teórico. Resumen. Bibliografía del alumno.

- Sugerencias metodológicas.
- Cuestiones.
- Problemas.
- Prácticas.

- Distribución horaria.
- Actividades complementarias adecuadas al tema.
- 8. Mecanismos de aprendizaje.
- 9. Material pedagógico y metodológico.
- 10. Evaluación.
- 11. Bibliografía.

siendo básicamente esenciales: el contenido del programa, los objetivos, el proceso didáctico, el mecanismo de aprendizaje y la evaluación. Hemos de tener en cuenta que se debe poner en antecedentes al alumno, antes de empezar a estudiar el tema, de la presentación, del contenido del programa, los objetivos y los mecanismos de aprendizaje disponibles.

### (1) Título del tema

Para aquello que vamos a estudiar se ha de buscar aquella denominación más representativa y sugestiva de su temática.

### (2) Presentación

Hemos de hacer observaciones generales dentro del contexto del programa, para lo cual conviene usar cuadros sinópticos con esquemas muy generales. Así mismo, hemos de relacionar el tema con el mundo que rodea al alumno, sobre todo con aquellos temas científicos de dominio público.

### (3) Objetivos o propósitos

En conocimiento: son las ideas generales que pretendemos adquiera el alumno.

En comprensión: aquellos aspectos que su comprensión profunda le pueda llevar a sacar consecuencias posteriores tanto teóricas como prácticas.

En aplicación a casos prácticos: proyectar los conocimientos del tema en algunas situaciones de laboratorio o de la vida real (6).

### (4) Contenido de programa

Guión detallado de los aspectos teóricos del tema destacando los conocimientos en categorías según sean mínimos (lo que podíamos denominar «núcleo del tema»), básicos o generales.

### (5) Motivación y enfoque del tema. Vocabulario nuevo

Hemos de tratar de motivar al alumno hacia el tema en cuestión por cualquier forma disponible a nuestro alcance, procurando llamar la atención sobre algún aspecto interesante, bien por el momento social o por circunstancias ambientales. El material a disposición es variado, pero fijemos nuestra atención en los aspectos citados como material pedagógico y metodológico.

Así mismo, se ha de establecer cuál es la filosofía que subyace en la metodología a seguir para introducir determinados conceptos; ante posibles alternativas, fijar una de ellas, que deben seguir todos los miembros del seminario o departamento, para tratar de la misma forma el contenido del programa.

También hemos de resaltar la terminología y vocabulario nuevo para el alumno en este tema, para que de esta forma el profesor lo tenga presente en todo momento e insiste en él de forma más acusada, procurando evitar malas interpretaciones en sus primeras aplicaciones de estos conceptos.

## **(6) Conocimientos previos**

Son toda aquella serie de conocimientos que el alumno ha estudiado en otro momento; ahora se repasan y se disponen de forma adecuada y ordenada para su inmediato uso en el estudio del tema en cuestión. Muchas veces sirve para corregir falsas interpretaciones y otras para recordar algo que se había olvidado o que no se estudió nunca por diversas circunstancias.

De la misma forma incluimos también «tabla de datos», es decir, toda aquella serie de datos que se van a necesitar en este tema en concreto y que puede ser por ejemplo: la tabla periódica, nomenclatura y formulación, relaciones matemáticas usuales, tabla de unidades del sistema S. I., factores de conversión, constantes universales, etc.

## **(7) Proceso didáctico**

Se trata del plan de trabajo del profesor para poder realizar los objetivos del tema y consta de los siguientes puntos:

### *Tema teórico. Resumen. Bibliografía para el alumno.*

El tema teórico debe estar a disposición del alumno y del profesor y ha debido estar redactado bajo los objetivos y enfoque que se ha propuesto en esta programación; sería ideal que estuviera en un texto, pero casi en ningún caso las líneas de programación de un determinado profesorado se ajustan a texto alguno; por motivos tales como ambiente, educación social, documentación, profesorado, etc. Se ha de elaborar este «tema teórico» previamente por el profesorado, que posee las ideas principales del tema, desarrollada con detalle, estando al nivel de los libros de texto para el curso objeto de estudio, siguiendo en su redacción un guión estrictamente pedagógico aunque tengamos que apartarnos algo de los programas oficiales. Debe suplir la falta de tiempo y material (libros de texto) que caracteriza a los alumnos, lo que impide asistir a las bibliotecas dentro del horario escolar recargado.

El resumen del tema es otro instrumento didáctico que se debe disponer con antelación al estudio y que sirve al alumno para facilitar la visión global y el repaso del tema.

La bibliografía al alcance del estudiante y de su nivel se debe poner a su disposición para que pueda tratar, modificar o completar ampliando distintos aspectos del guión.

### *Sugerencias metodológicas*

Consiste en el método pedagógico de cómo abordar determinados conceptos para que sea más fácil la captación del alumno, así como reseñar aquellos puntos de más importancia y destacar los fallos más frecuentes del alumno al interpretar determinadas ideas. Se han de hacer sugerencias metodológicas y

destacar las minucias pedagógicas de que nos valemos, para todos los aspectos del programa.

### *Cuestiones*

Serie de cuestiones íntimamente ligadas con el tema y orientadas a asegurar la comprensión de los conocimientos; a hacer pensar y reflexionar al estudiante deductivamente, para lo cual se procurará que sean sencillos y que los pueda resolver personalmente con la consulta del tema teórico.

### *Problemas*

Serie de cuestiones y problemas sobre cuestiones nuevas y originales fuera del contacto teórico, cuyo objetivo es desarrollar la capacidad de aplicar los conocimientos teóricos muy generales a un caso particular.

Para ello usamos cuestiones y problemas:

- a) Resueltos y que sean de tipo «standard» y representativos.
- b) Sin resolver en progresiva dificultad.

### *Prácticas*

Se pretende completar la comprensión de algunos conceptos teóricos o edificar el conocimiento teórico sobre la base de los datos experimentales o simplemente que el alumno aplique el método científico a la explicación.

Algún tema elegido por el profesor se debía empezar inicialmente por una práctica y hacer una recopilación de observaciones y preguntas de los alumnos, que surjan durante el experimento, procurando sacar la mayor cantidad posible de conclusiones inductivas. A continuación, combinando la clase magistral y el método activo de trabajo del alumno, hacer una elaboración del tema teórico.

En cualquier caso, disponer también de una serie de guiones de prácticas de laboratorio, con su material correspondiente sin instalar (pero del que se ha comprobado previamente el funcionamiento), que sirvan para comprobar en casos reales los objetivos del tema. Así el profesor a cada alumno o grupo de alumnos, suministrándole guión y material de una práctica determinada, puede animarlos a conversar con él sobre aspectos estudiados e incluso a excitar su imaginación para situaciones distintas a las experimentadas; estas discusiones de los resultados experimentales son sumamente instructivas.

### *Distribución horaria del tiempo invertido en cada uno de los apartados*

Se ha de destacar en cada apartado cuál es el tiempo que se debe invertir en cumplir las sugerencias metodológicas, para que el profesor conozca de esta forma la extensión e insistencia de cada cuestión.

### *Actividades complementarias*

Entre las distintas actividades complementarias que podemos citar con vistas a la formación del alumno, muchas de ellas pueden valerlos como excelentes motivadoras para introducirnos en el estu-

dio del tema, como así mismo para completar los conocimientos del alumno sobre algunos aspectos; tal es el caso de:

- — Diapositivas.
- Películas.
- Lecturas y anécdotas.
- Conferencias.
- Visitas a fábricas e instalaciones industriales.

### (8) Procesos científicos de mecanismos de aprendizaje. Guía del trabajo personal del alumno

Mediante fichas, análisis, desarrollos, valoración de aspectos, etc., vamos a constituir la pauta de trabajo del alumno; con ello dirigimos indirectamente al alumno hacia los objetivos del tema. En la elaboración de esta guía del alumno hemos de tener muy en cuenta las experiencias anteriores analizando con detalle los resultados y contribuciones positivas que pueda tener cada herramienta utilizada en el mecanismo de aprendizaje del alumno.

### (9) Material pedagógico y metodológico

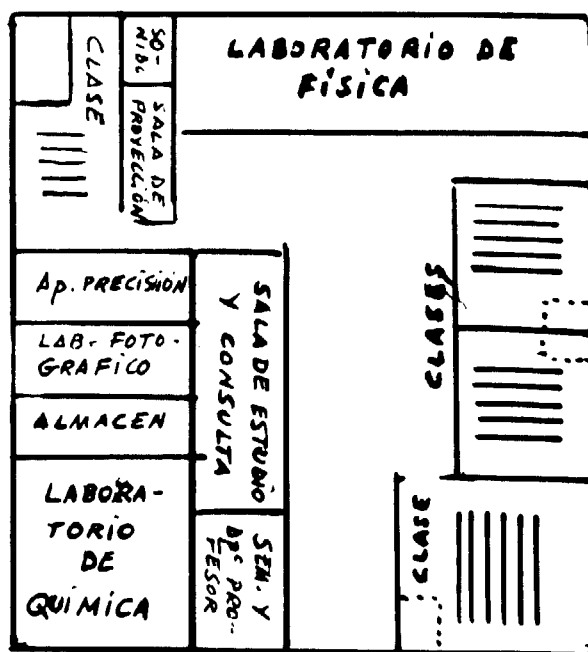
#### a) Clase

Intentaremos que las clases no posean un número de alumnos superior a 20 y que su ejecución esté en un lugar tal que se pueda simultanear.

- La clase magistral.
- El trabajo activo del alumno.
- «Experiencias de Cátedra», que mediante una pequeña tarima-laboratorio instalada en el aula se puedan destacar aspectos de la explicación.
- Equipo audiovisual.

Esto se podrá conseguir con un diseño arquitectónico en que esta clase estuviera muy próxima al laboratorio, y que los desplazamientos fueran muy cómodos e incluso lo pudieran realizar parte de los alumnos sin interrupción de la clase. Con esta intención se esquematiza en la Figura 1.

De esta forma se podría dar la clase simultaneando en parte la *lección magistral* con la *audición de lecciones grabadas* en cintas magnetofónicas que los alumnos pueden oír en cualquier momento y tantas veces como quieran, e incluso llevar a su casa; el *trabajo personal del alumno* estudiando por sí mismo e intentando por su cuenta la captación del tema, bajo la guía siempre del profesor que tiene muy cerca para poder en cualquier momento consultar algún aspecto; un *pequeño laboratorio* de «experiencias de Cátedra» donde el profesor dispondrá de todo el material que considere oportuno para hacer más llamativa la exposición (tizas de colores, compás, reglas, tablas, modelos, material fungible, etc., para ver alguna cosa sencilla tal como una valoración) y un *equipo sonoro* donde el profesor pueda grabar la lección con sus compañeros de seminario, cuidando mucho los intervalos de tiempo y procurando intercalarle en el cassette música regional, clásica o moderna para relajarlo en lo posible; esta cinta puede usarse para la clase globalmente o bien a grupos reducidos o individuos más retrasados, siendo muy efectivo este medio sonoro para las clases de recuperación, para las que el profesor no dispone de tanto tiempo como para poder dedicárselo a grupos



muy reducidos; a veces dentro de la lección magistral sólo es conveniente grabar algunos aspectos para completar aquella, o bien hacer llegar alguna parte del tema mediante *colecciones de diapositivas*, para lo cual la sala de proyecciones debe estar muy próxima para simultanearlo con las demás actividades. Para preparar estas colecciones de diapositivas se podría disponer de un *equipo fotográfico* con una máquina tal que permita hacer diapositivas de cualquier grabado y un laboratorio de revelado que al mismo tiempo pueda servir para despertar aficiones formativas en los alumnos. En esta misma línea, además del *equipo de proyección* para diapositivas, es interesante el poseer un *proyector* y un *filmador* de super 8 ó 16 mm. para poder comprar y filmar (copiando otras existentes) películas científicas educativas que abundan en el mercado, siendo excelentes motivadoras para el alumno en las Ciencias de la Naturaleza.

#### Laboratorio

Actividad que puede despertar vocacionalmente a algún alumno hacia las ciencias Físicas o Químicas por su contacto directo (7).

#### Actividades complementarias

Toda la serie de actividades complementarias enumeradas en el proceso didáctico tales como:

- Trabajo de lecturas bibliográficas y anecdotario, que tan atractivo es por cuanto acercan a los alumnos a la vida cotidiana de los científicos más célebres así como descubrir las anécdotas y humanidades que rodean a los grandes descubrimientos, al mismo tiempo que se tiene una evolución histórica de algunas ideas científicas.
- Conferencias planificadas y estructuradas tanto en contenido como en forma de discutir los resultados interpretativos de los alumnos.
- Visitas a fábricas de interés industrial (8).

## (10) Evaluación

Consiste en una serie de cuestiones, ejercicios y preguntas deductivas (9). No se debe realizar una vez estudiado algún aspecto o tema parcial de una unidad didáctica, sino que conviene que el alumno tenga una visión global de la unidad que engloba nuestra explicación.

Sabiendo qué conocimientos deben dominar los alumnos para poder afrontar con éxito nuestras pruebas, hemos de discutir:

- ¿Qué queremos evaluar a nuestros alumnos?
- ¿Cómo tienen que ser nuestras pruebas?
- Posibles pruebas tipo.

La evaluación es el proceso a través del cual se puede juzgar si los objetivos han sido alcanzados; de ahí que nos propongamos examinar los criterios generales de evaluación para comprobar que los objetivos trazados se han conseguido. La finalidad de la evaluación es:

1.º Determinar en qué medida se ha desarrollado su capacidad de razonamiento y comprensión de los conceptos adquiridos, para ello se ha de determinar su capacidad de utilizarlos y extrapolarlos a situaciones no típicas para ellos.

2.º Evaluación de los *conocimientos* adquiridos como conceptos físico-químicos asimilados.

3.º Utilización precisa del lenguaje científico.

Se ha de ser consciente que estos objetivos de la evaluación no se pueden introducir de forma total y brusca; el alumno y quizá el profesorado no están habituados a ello; la docencia se les ha dado de otra forma (memorística, los problemas se resuelven mediante la utilización de fórmulas en lugar de conceptos, etc.) y no se puede intentar cambiar su mentalidad y disposición en poco tiempo, pero sí marcarles cuál es la línea a seguir. Por lo tanto, esta forma de evaluar hay que introducirla poco a poco en principio (según opinión de algunos profesores) coexistiendo con la manera tradicional de evaluar.

Un punto de suma importancia es que creemos que el alumno debe conocer de antemano los conocimientos que le vamos a evaluar así como el método para hacerlo. Como orientación indicamos las características generales que debería tener una prueba tipo e incluimos una de ellas a título orientativo en cada tema estudiado.

a) Preguntas conceptuales cuya contestación no implique cálculo.

b) Preguntas cortas y concretas sobre determinados conceptos, que requieran un pequeño razonamiento y evite la repetición memorística.

c) Problemas numéricos, que sean interesantes desde el punto de vista conceptual, y cuyo desarrollo matemático sea muy simple. Es interesante que tengan diferentes apartados, interconectados y de dificultad creciente.

d) Alguna pregunta dentro de la metodología clásica.

e) Darles un párrafo científico «clásico», Newton, Copérnico, Planck, etc., y que lo comenten para ver su capacidad de crítica y de razonamiento.

f) Ponerles algo inesperado, pero relacionado con los contenidos desarrollados, y ver cómo reaccionan.

Capacidad de aplicación de los conceptos desarrollados a situaciones no típicas.

Al final se debe poseer, por una parte, juicio del alumno sobre el desarrollo del tema, y por otra, juicio del alumno sobre su propio aprendizaje y trabajo personal (autoevaluación); además se deben recopilar los datos siguientes:

- resumir las opiniones de los alumnos sobre el desarrollo del tema;
- impresión del propio profesor;
- tiempo real empleado por los alumnos en la unidad y causas de las desviaciones respecto al tiempo previsto;
- estadística del rendimiento del grupo, y
- análisis del logro de los objetivos.

## (11) Bibliografía

Se debe disponer de una bibliografía por temas que se pueden clasificar en grandes grupos:

a) Bibliografía del nivel del curso en estudio asequible y dirigida al alumno.

b) Bibliografía de contenidos fundamentales del tema, que sea el material de trabajo del profesor y que pueda servir de consulta para el alumnado.

c) Bibliografía de aspectos parciales del tema, o que incidan sobre el desarrollo histórico de los conceptos estudiados, o de aplicación de los conceptos a situaciones prácticas, o de temas de actualidad relacionados con los estudiados, etc.

d) Proyectos metodológicos que existen en los diferentes países para la enseñanza de la Física y la Química, o de la parte de éste relacionada con el contenido del tema.

Revistas de orientación didáctica nacionales e internacionales en la materia. Agrupaciones que existen en el mundo preocupadas por la didáctica de las Ciencias.

e) Prácticas de estas materias, para las cuales existen varias publicaciones específicas que facilitan la labor del laboratorio.

## BIBLIOGRAFIA

1. Congreso del GIREP (UNESCO), Oxford, julio 1978.
2. LAHERA CLARAMONTE, J.: «Vida Escolar», 145-146, 13-18, enero-febrero (1973).
3. FERNÁNDEZ CASTAÑÓN, M. L.: «Vida Escolar», 155, 13-18, enero (1974).
4. JOSEPH, A., y LEAHY, D.: «Física Programada», 5 vol., Ed. Limusa, Méjico (1969).
5. MAVALÓN MORENO, M. y VARGAS VERGARA, M.: Revista Bachillerato, Servicio Publicaciones del M. E., 44-66, julio-septiembre (1977).
6. BLOOM, B. S.: «Taxonomía de los objetivos de la educación», Edit. El Ateneo, Buenos Aires (1972). Edit. Marfil (1975).
7. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J.: «El laboratorio en la Física y la Química», pte. publicac.
8. «Excursiones de trabajo». Curso de didáctica de las Ciencias II. Inst. de Técnicas Educativas. Universidad Laboral de Gijón (1973).
9. RUBIO ROYO, F., y col.: «Seminario Permanente de Física». Dpto. Física, Universidad de La Laguna (1979) (comunicación no publicada).

# Aplicación de los Diagramas de Gantt a la programación del B. U. P. y C. O. U.

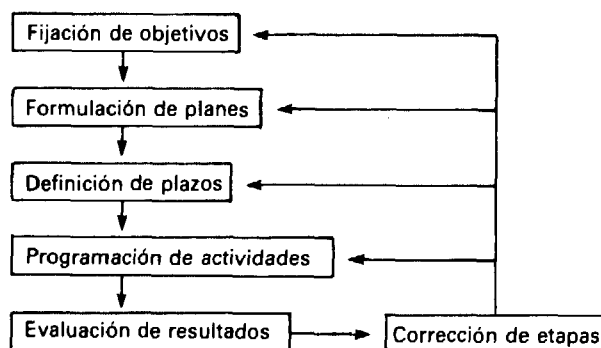
Por María Teresa LAUZURICA VALDEMOROS (\*)

Con el presente estudio se pretende dar idea de cómo alguno de los métodos y técnicas de programación empleados en la industria y en la investigación pueden ser utilizados por los profesores en la programación de las distintas actividades que deben desarrollarse en cada curso académico. La aplicación de los mismos puede servir para cualquier etapa y materia, aunque en este trabajo se utilice a nivel de Bachillerato y C. O. U. y se concrete en la disciplina de Química.

De forma general se puede decir que planificar es establecer un conjunto de posibilidades de acción, que pueden ser discutidas y examinadas con el fin de alcanzar unos objetivos de la manera más eficiente. Una vez elegida la acción y establecidos los objetivos, la tarea inmediata es programar las actividades de tal forma que se alcancen, con éxito, los fines dentro del tiempo marcado y con los recursos humanos y materiales disponibles.

La aplicación de la programación a la enseñanza, a nivel de los propios profesores, ayuda a mejorar la calidad de la misma, evitando, a priori, errores que una vez iniciado el curso son muy difíciles de subsanar. Después que el seminario didáctico planifique, para cada nivel, las actividades a desarrollar en el curso académico (en su mayor parte impuestas por los programas ministeriales, limitación del profesorado para laboratorio, número de alumnos por clase, etc.), teniendo en cuenta los objetivos a conseguir, la metodología a emplear, partes del programa, clases teóricas y experimentales, actividades fuera del centro, etc., es obligado *programar* la duración efectiva de cada una de ellas, así como establecer las dependencias entre sí y el momento adecuado para implantarlas.

El método elegido para la programación debe estar adaptado al tipo de trabajo a programar y debe permitir: organizar el trabajo, efectuar un control del mismo, fijar la atención sobre las actividades críticas, facilitar el seguimiento de su situación en cada momento y responsabilizar a las personas con las actividades que deben ejecutar. El sistema elegido de programación debe ser dinámico, de tal forma que permita actuar sobre las distintas etapas de la programación según vaya mejorando la información que se tenga sobre cada una de ellas. Gráficamente se puede representar este ciclo secuencial de la siguiente forma:



Los sistemas de programación dinámica más conocidos son: PERT («Program Evaluation Review Technique»), CPM («Critical Path Method»), ROY y RAMPS, que difieren, entre sí, en matices. De éstos parece el PERT el más adecuado para la aplicación a la enseñanza, siendo suficiente la representación gráfica del mismo mediante diagramas de Gantt modificados, cuyo fin es facilitar la tarea de seguimiento del conjunto de actividades.

## Diagramas de Gantt

Las fases necesarias para elaborar un diagrama de Gantt son:

- Determinación de las actividades principales.
- Estimación de la duración efectiva de las mismas.
- Enunciación, en el diagrama, de las actividades principales y establecimiento de las dependencias entre sí.
- Representación gráfica, en el diagrama, de su duración mediante una barra.
- Conversión de la escala de tiempos efectivos en escala de días de calendario.

La utilización de estos diagramas presenta algunas limitaciones, como son:

- Las actividades que se representan tienen que ser limitadas, sin poder descender al detalle.
- Requieren una dirección continua para que sean efectivas.

(\*) Catedrática de Física y Química del I. B. Conde Orgaz de Madrid.



— La duración de las actividades, si el plan es complejo, puede venir mal definida.

— No se definen las actividades limitantes del programa. Sin embargo, tiene a su favor que son fácilmente realizadas por personas no especializadas y que su representación sinóptica e intuitiva es muy útil.

En el cuadro se representa un diagrama de Gantt modificado, aplicado a la programación de la enseñanza de la química en el C. O. U. En este caso sólo se recogen dos grupos de C. O. U, pero el ampliarlo para más grupos y el período lectivo completo no debe ofrecer ninguna dificultad.

En el ejemplo se observan dos partes bien diferenciadas. En la primera se definen las actividades y se describen los temas en que se divide cada una de ellas. En la columna que recoge el número del tema, y que consta de dos cifras, se intenta coordinar las tres primeras actividades (teoría, laboratorio y experiencias de cátedra) señalando claramente, mediante el segundo número, la relación entre ellas. Los vacíos que se observan se producen cuando no existen prácticas o experiencias de cátedra que apoyen el desarrollo teórico, cualquiera que sea la razón. En las actividades 4 y 5, relacionadas como es lógico con las anteriores, no se utiliza el mismo sistema de numeración, ya que son múltiples y de carácter general.

La segunda parte recoge, en sus dos primeras columnas, los diferentes cursos para los que se realiza la programación, así como el responsable del desarrollo de cada uno de los temas, siendo la columna rayada de la derecha la que indicará los tiempos de ejecución. Como se observará, cada grupo de temas abarca dos filas más que cursos. La primera fila tiene como misión fijar la programación de los temas al principio del curso, llevando un número que se corresponde con el del tema, y la segunda para introducir correcciones, en el caso de que existan adelantos o retrasos en el desarrollo de las actividades y haya que reprogramar los tiempos de ejecución de los temas. Estas correcciones se deben realizar en tiempos prefijados, por ejemplo, al finalizar los dos primeros trimestres. El seminario didáctico será el responsable de fijar estos tiempos.

Las filas asignadas a cada curso sirven para representar los tiempos reales utilizados para el desarrollo de cada uno de los temas y pueden rellenarse mensualmente en las reuniones de seminario.

Para las actividades 2, 3, 4 y 5 se sigue, aquí, el criterio de señalar la semana en la que se programa, pero no el día concreto, que puede fijarse por el seminario la semana anterior, teniendo en cuenta para las actividades 2 y 3 la dificultad de coordinar los horarios del laboratorio y para las 4 y 5 las obligaciones del alumno frente a otras materias, y el hecho mismo de que no es posible concretar hasta ese límite.

Con el fin de diferenciar mejor cada una de estas filas se pueden utilizar colores o rayados diferentes para cada curso, diferenciándolas a su vez de la programación inicial y la posible revisión.

El ejemplo muestra el estado de la programación una vez realizada la revisión correspondiente a finales de diciembre. Como se ve en el ejemplo, la suspensión de las clases durante el mes de diciembre obligaron a hacer la reprogramación. El seguimiento ha sido efectuado hasta últimos de marzo.

Para evitar el trabajo rutinario del trazado de los cuadros, es conveniente realizar una plantilla que contenga todos los rayados verticales, y sólo los ho-

rizontales correspondientes a la cabecera y tiempos de programación, de tal forma que, mediante el uso de fotocopias, puede alargarse el diagrama en cualquier sentido y con la variación del resto del rayado horizontal acoplarse para todo número de actividades y cursos. Naturalmente, este diagrama puede sufrir variaciones dependiendo del seminario que lo ejecute y del tipo de actividades que se quieran programar. Por ejemplo, en otras disciplinas las actividades 2 y 3 no existirán, pero pueden ser más amplias las de medios audiovisuales y será necesario incluir nuevas actividades como comentarios de textos literarios e históricos, lecturas, visitas a museos, trabajos de campo, etc.

Como resumen y conclusión de lo expuesto hasta aquí, apuntamos una serie de razones que nos llevan a creer que el empleo de estos diagramas en la programación puede ser útil a los docentes y contribuir a mejorar la calidad de la enseñanza:

— Proporciona un método sencillo de resumir las programaciones efectuadas y anotar la marcha de las actividades; un fácil seguimiento y una clara visión de conjunto, lo que contribuirá a una mayor coordinación.

— Cada año el diagrama realizado el curso anterior serviría, por un lado, como base de revisiones, modificaciones, inclusión de nuevas actividades, etc., en el mismo nivel, y por otro, de punto de partida para programar las actividades a realizar con los mismos alumnos en el nivel siguiente al que van a pasar, y no repetir actividades o subsanar las lagunas que hubieran podido quedar.

— Los diagramas de Gantt pueden archivarse en el correspondiente seminario didáctico, creando así, al cabo del tiempo, una fuente de datos y de material que puede ser útil para abordar tareas de investigación en Ciencias de la Educación, cuestión ésta que empieza a preocupar en los institutos de Bachillerato.

Los diagramas de Gantt podrían ser útiles en la programación global del currículum de todos los niveles de un seminario didáctico, por ejemplo, las matemáticas de todo el B. U. P. y C. O. U. Así mismo, la utilización de estos diagramas por los seminarios de una misma área permitiría abordar la tarea de coordinar sus actividades, con el fin de realizar una enseñanza coherente entre las diversas disciplinas que integran la educación del alumno.

Cada uno de los diagramas realizados al finalizar un curso deben complementarse con un informe donde se indiquen las causas de los cambios que han obligado a las reprogramaciones, así como un estudio crítico del resultado global del curso correspondiente.

Nota: Ver cuadro de programaciones en páginas siguientes.

## BIBLIOGRAFIA

- HUBER: «RXD Management». Vol I. Núm. 1. October 1970.  
WILLIAM H. NEWMAN: «Programación, Organización y Control». Ed. Deusto, Mayo 1973.  
Apuntes del Curso «Formación de Expertos en Organización y Gestión de la Investigación». Fundación del INI. Año 1977-78.  
A. VIAN: «El Pronóstico Económico en Química Industrial». Ed. Alhambra, S. A. (1969).





# Esquemas para una planificación general en el Seminario de Física-Química

---

Por Antonio RUIZ SAPETTI (\*)

---

## DOCUMENTO O PRESENTACION

«El progreso de la ciencia y las interrelaciones entre las diversas especialidades hacen cada vez más necesario el estudio e investigación de cada disciplina y de su metodología y una mayor coordinación entre las varias áreas educativas.

A estas exigencias responden los departamentos por áreas educativas, que serán pequeñas agrupaciones de especialistas de diversas áreas. El número de departamentos dependerá del volumen de alumnos y profesores de cada centro. En algunos casos, incluso, será conveniente su asociación a otros departamentos afines a la circunscripción escolar.

En cada área, además de los profesores del centro, podrán colaborar especialistas de otros niveles de enseñanza, de organización, de métodos, etc.

Las funciones principales de estos departamentos son las siguientes:

- Perfeccionamiento científico y didáctico del profesorado adscrito al seminario.
- Renovación y experimentación de nuevas técnicas y medios de enseñanza.
- Elaboración, actualización, revisión y coordinación de los procesos y programas del área de enseñanza en todos sus niveles.
- Coordinación de actividades de evaluación dentro del área.»

(«Orientaciones pedagógicas», 2 diciembre 70)

## EL SEMINARIO DE FISICA-QUIMICA

Una de las materias que mayor coordinación, revisión y actualización nos está exigiendo al profesorado es, sin duda, la asignatura de Física-Química, de-

bido a su fuerte interrelación a lo largo de todo el ciclo de estudios, y a los problemas que a la mayor parte de los alumnos plantea, bien por motivaciones de dificultad o por otras causas.

Por esto proponemos un estudio serio de programación, una sincera colaboración y planteamiento de problemas educativos, un verdadero interés en alcanzar objetivos claros y definidos...

Y con un fuerte sentido de equipo, de responsabilidad profesional compartida, y de verdadero interés por los alumnos.

El seminario es un elemento clave de coordinación de la labor docente, y de perfeccionamiento del profesorado, de actualización metodológica... por todos estos motivos queremos impulsar el desarrollo del seminario de Física-Química y dar unas orientaciones generales acerca de algunas de sus muchísimas posibilidades.

## OBJETIVO GENERAL

La formación científica de los alumnos de un Centro conlleva dos aspectos importantes a los que queremos atender con este Seminario:

- Por un lado la utilización de un lenguaje propio y preciso en el campo de la ciencia y la técnica.
- Y por otro, la asimilación de un método de reflexión ante la realidad que es común a todas las ramas de la ciencia: Biología, Geología, Física, Química...

En lo referente a objetivos internos del mismo seminario aparecen como campos de primera urgencia:

- El perfeccionamiento científico y didáctico del profesorado.
- La acción coordinada y en línea de progresiva evolución hacia unas técnicas y medios actualizados en la enseñanza.
- Una labor de investigación en lo referente a programas, a su revisión, coordinación y evaluación en todos los niveles.

---

(\*) Profesor agregado de Física y Química del Instituto mixto número 8 de Zaragoza.

## CRITERIOS DE FUNCIONAMIENTO

Se considera necesaria la integración de todos los profesores en la actividad y funcionamiento del seminario.

El seminario no quita la individualidad y las peculiaridades de cada profesor, sino que las comparte en lo más valioso que tengan dentro de la fuerza del equipo docente, y las coordina dentro de todo el programa del centro.

El seminario es el marco de referencia de la acción educativa en un área concreta para toda la comunidad escolar (padres que reciben y aportan orientaciones para su colaboración en el entorno familiar, profesores que trabajan en equipo, alumnos que se sienten acompañados en el proceso de formación y aprendizaje dentro de una línea continuada y coherente).

El seminario exige una nueva mentalidad educati-

va, un afán de superación y perfeccionamiento, un estilo de trabajo en equipo con mentalidad abierta a la colaboración y al apoyo mutuo.

## RECURSOS

El elemento básico es el profesorado que se considera debe estar centrado en su acción docente dentro de unos programas y asignaturas de acuerdo a su capacitación y gustos profesionales, con la menor dispersión posible, y con unos horarios y jornada de trabajo que le deje posibilidades de colaboración y trabajo en equipo.

Se considera importante la presencia y apoyo de padres y alumnos.

El seminario utilizará al máximo los Laboratorios.

Elaborará presupuestos de acuerdo a las necesidades de programación.

## DEPARTAMENTO: CIENCIAS (SEMINARIO FISICA-QUIMICA)

### 2. Programación del Seminario de Física-Química (1)

| Prioridades   | Obj. específicos   | Actividades   | Medios   | Fechas   | Evaluación  |
|---|--|---|--|--|---|
| 1. Llegar a un marco general de todos los programas docentes.                     | Conseguir la pauta de una acción coordinada en lo referente a contenidos.  | Revisar por parte de cada profesor el árbol de contenidos ya elaborado normalmente el curso anterior, y en lo referente a su curso.   | Trabajo personal.  | Marcar una fecha tope de trabajo.                                      |   |
| 2. Llegar a formular los niveles mínimos exigibles en cada curso.                 | Conseguir una visión clara del nivel mínimo común para todos los alumnos y que facilite la progresiva acumulación de conocimientos en los alumnos. | Revisar por parte de cada profesor los contenidos mínimos ya elaborados el curso anterior.  | Trabajo personal.  | Marcar una fecha tope de trabajo.                                      |   |
| 3. Dejar unos programas y unos mínimos prácticamente definitivos para este curso. | Alcanzar por todos un marco de referencia en el trabajo de dar los contenidos.   | Labor de síntesis de los documentos elaborados por los profesores.<br>Presentación a todos los profesores de estos documentos marco con las últimas aportaciones y con las que puedan surgir en la sesión conjunta. | Trabajo del equipo directivo del seminario para la síntesis.<br>Reunión de confirmación de estos puntos. | Entre la síntesis y la reunión final marcar una fecha tope de trabajo. | En la sesión conjunta del Seminario se evaluará este trabajo de los números 1, 2 y 3. |

DEPARTAMENTO: CIENCIAS (SEMINARIO DE FISICA-QUIMICA)

2. Programación del Seminario de Física-Química (2)

| Prioridades   | Obj. específicos  | Actividades   | Medios   | Fechas  | Evaluación                  |
|---|---|---|--|---|-----------------------------|
| 4. Coordinar la recuperación de los alumnos que llevan la Física-Química suspendidas de un curso a otro. (Alumnos con asignaturas atrasadas.) | Dar seriedad a este esfuerzo que se pide a los alumnos que han dejado esta asignatura atrasada, y favorecer un nivel de trabajo que les permita superar al menos los mínimos exigibles para no entorpecer su trabajo a lo largo de los cursos siguientes. | Preparar por parte de cada profesor una serie de contenidos y ejercicios, programados de acuerdo al nivel mínimo del curso y que se pondrán a los alumnos para recuperar esta asignatura como condición imprescindible. (En lo referente a la aplicación de estos ejercicios, a los exámenes y fechas de recuperación, a la manera de dividir la asignatura... se elaborará un estudio entre los miembros del Seminario.) | Trabajo personal de cada profesor. Recogida de ideas sobre la manera de aplicar ejercicios, efectuar pruebas de recuperación mentalización de padres... Elaborar un estudio. | Tener seleccionado el cuaderno de recuperación con contenidos y ejercicios para una fecha tope. Elaborar el estudio para su aplicación en esa fecha tope. | Al presentar los cuadernos. |

|   |   |  |                                   |   |   |
|---|---|--|-----------------------------------|---|---|
| 5. Coordinar el progresivo nivel de conocimientos de los alumnos. | Toma de conciencia del nivel que los alumnos llevan al pasar de curso, y efectuar un conveniente repaso en vistas al curso próximo. | Apoyar al profesor que desee hacer un test inicial sobre los conocimientos anteriores y necesarios para el trabajo del curso. Efectuar en estos niveles el repaso necesario para los conocimientos del curso actual, en el momento que se necesiten. | Trabajo del profesor en su clase. | Insistir en los momentos necesarios a lo largo del curso. Dejar constancia de ello en las programaciones. | Se hará una revisión de los resultados de estos repasos y constataciones de nivel en una reunión conjunta con fecha tope. |
|---|---|--|-----------------------------------|---|---|

2. Programación del Seminario de Física-Química (3)

| Prioridades   | Obj. específicos  | Actividades                                 | Medios   | Fechas          | Evaluaciones |
|---|---|---|--|-----------------|--------------|
| 6. Reflexión sobre objetivos comunes y específicos de cada curso. | Explicitar las líneas maestras de la formación de la asignatura ya intuidas en el árbol de contenidos. Toma de conciencia por parte de todo el profesorado del área, de la finalidad de la acción conjunta. | Redacción de objetivos. Reflexión conjunta. | Trabajo personal. Reunión de seminario, previa síntesis y planteamiento de problemática y de orden de reunión. | Sin determinar. |              |

DEPARTAMENTO. CIENCIAS (SEMINARIO FISICA-QUIMICA)

|  |  |  |   |  |  |
|--|--|--|---|--|--|
| <p>7. Disponer de un conjunto de programaciones por evaluación y curso que desarrollen el contenido general ya previsto.</p> | <p>Facilitar la labor de reflexión y de acción docente del profesorado del área.</p>           | <p>Efectuar programaciones por evaluación en cada curso.<br/>NOTA: El Seminario facilitará un formato para que se normalice la presentación de estas programaciones.</p>   | <p>Trabajo del profesor o de equipo didáctico formado por los profesores de un mismo curso.</p>                                       | <p>Cada programación, por evaluación se debe tener al principio de la misma.</p> | <p>En alguna sesión del seminario se evaluará la eficacia y el cumplimiento de esta función.</p> |
| <p>8. Disponer de un conjunto de pruebas tipo por evaluación y curso.</p>  | <p>Facilitar el manejo de un archivo de ejercicios que vayan respondiendo a los programas.</p> | <p>Presentar el archivo del Seminario de Física-Química, un ejemplar de cada prueba que se haga a lo largo del curso.<br/>NOTA: Se indicará el tipo de prueba, semanal, de evaluación... y la manera de calificarla.</p> | <p>Recogida de pruebas efectuadas por profesores.</p>   | <p>A lo largo del curso.</p>   |  |
| <p>9. Actualizar el material docente y la línea metodológica.</p>  | <p>Investigar sobre tecnología educativa y procesos docentes.</p>                              | <p>Conseguir en las programaciones una explicitación de estos puntos, y en línea de avance sobre el estilo actual.</p>   | <p>Previsiones y actualización del profesorado.<br/>Reflexiones conjuntas en estos puntos.<br/>Adquisición de material didáctico.</p> | <p>A lo largo del curso.<br/>Varias sesiones de reunión del Seminario.</p>       | <p>Sobre programaciones y en las reuniones del Seminario.</p>                                    |

# Una experiencia interdisciplinar: La Física en la Grecia Clásica

---

Por Fernando ALONSO VILLAR (\*)

---

## A) Introducción

Es bien conocida la escasez de motivaciones suficientes, en general, para el estudio de la Física y la Química en los alumnos de B. U. P. No pocas veces los profesores nos preocupamos en exceso por dar «todo el programa» y ello hace adoptar al alumno actitudes pasivas y defensivas. ¿Qué profesor de Física no ha observado algún bostezo en su clase y frases tales como éstas?: «¿Y para qué sirve eso?», «¿A mí no me interesan las Ciencias: yo voy a estudiar Letras», etc.

A mi entender, es esencial conseguir que el alumno acepte de manera natural:

1.º Que la Física y la Química, independientemente de su utilidad (la cual ha de ser resaltada en todos los casos que sea posible), son *interesantes* de aprender.

2.º Que las Ciencias, en general, no se encuentran separadas de las Letras en nuestra vida cotidiana. Ni siquiera debería ser así en los estudios de Bachillerato, pues éste es *unificado* y polivalente. La separación de las materias en diversas asignaturas obedece a un criterio de tipo práctico-organizativo, pero no debe perderse de vista que la Cultura es un hacer humano de tipo universal, y bien entendida jamás se presta a divisiones de este tipo. No deja de ser triste que personas, pretendidamente intelectuales, ignoren, por ejemplo, la tremenda repercusión de los experimentos de Galileo o de Newton en el posterior desarrollo cultural de Occidente.

Con estas premisas, el presente trabajo pretende ser un botón de muestra para posibles experiencias semejantes, que pueden ser realizadas en cualquier curso de B. U. P. e incluso en C. O. U.

El trabajo fue realizado a principios de curso por cinco alumnos voluntarios, que se organizaron del siguiente modo: un alumno [que por comodidad llamaremos (M)] se encargó de la parte de Matemáticas y Química, haciendo también de narrador general. La alumna (G) llevó a cabo la parte de Geografía, Griego, Latín, Música y Arte. El alumno (E) diseñó y

realizó los experimentos, la alumna (D) se ocupó de los dibujos, y el alumno (H) trabajó los aspectos históricos, filosóficos y literarios del tema.

Inicialmente se les entregó a los alumnos bibliografía suficiente (véase al final) para que se documentasen sobre el tema. Posteriormente, cada alumno por separado recibió instrucciones concretas sobre los aspectos del trabajo a realizar, aclarando las posibles dudas surgidas en las lecturas. Se han respetado las iniciativas personales en la medida de las posibilidades materiales del Centro.

## B) Desarrollo

En primer lugar, el alumno que se encarga de la narración ha hecho una presentación general del Tema, comentando los orígenes de la Física en la historia occidental. La alumna (G) expone brevemente la situación general del Arte y la Cultura griegas en la época clásica, proyectando diez diapositivas básicas con el comentario correspondiente:

1. El Partenón.
2. Vaso de cerámica con figuras de atletas.
3. El Erecteion.
4. Situación geográfica de la antigua Hélade.
5. El discóbolo.
6. El apoxyomenos.
7. Panorámica de la antigua Olimpia.
8. Cariátides.
9. Busto de Aristóteles.
10. Busto de Arquímedes.

En lo sucesivo, además, esta alumna se ha ido encargando de citar las fechas clave en el desarrollo del tema.

Proyectadas las diapositivas, interviene de nuevo (M), exponiendo las teorías químicas de Tales (600 a. de C.) y Anaxímenes (570 a. de C.). Según estos filósofos el agua y el aire serían, respectivamente, los elementos básicos constituyentes de la materia.

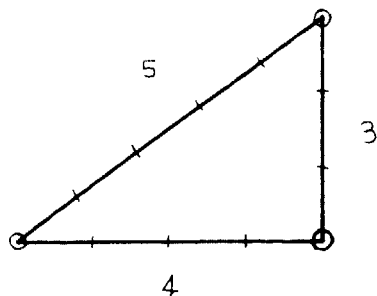
Seguidamente, el alumno (E) presenta ante la clase cuatro cartulinas con un triángulo de cuerda en cada una, fijos los vértices por medio de chinchetas. Aquí tenemos una buena ocasión para mostrar la aplicación directa del método científico (observación-hipótesis-teoría-comprobación).

---

(\*) Profesor Agregado de Física y Química en el Instituto de Bachillerato «Modesto Navarro», de La Solana (Ciudad Real).

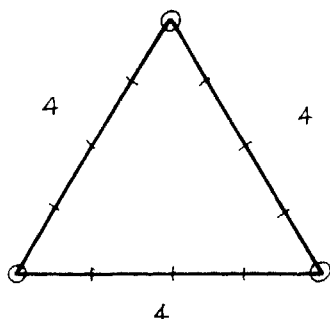


Primer triángulo (un triángulo rectángulo):



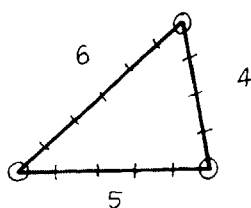
PRIMER TRIANGULO

(E) explica que dicho triángulo ha sido construido dividiendo una cuerda en 12 partes y disponiéndola como se muestra en la figura. Surgen algunos murmullos pues algunos alumnos recuerdan el Teorema de Pitágoras, pero se les invita a que rompan por un momento los esquemas mentales que poseen acerca del asunto. Se plantea el interrogante: ¿La razón de haber obtenido un triángulo rectángulo está en el hecho de haberlo dividido en 12 partes? Se muestra otro triángulo construido así:



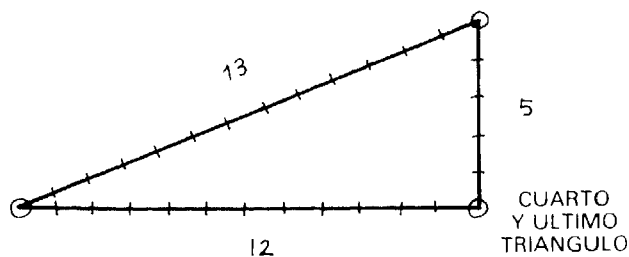
SEGUNDO TRIANGULO

Algunos alumnos sugieren entonces que la razón estriba en que la diferencia entre cada lado consecutivo debe ser siempre una unidad de longitud. En ese momento (E) presenta el tercer triángulo:



TERCER TRIANGULO

Por último presenta ante la clase el último triángulo, que resulta ser también rectángulo:



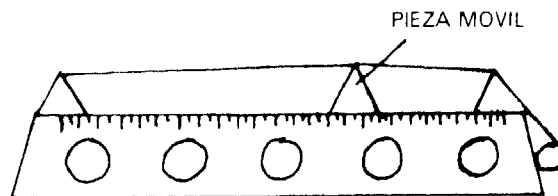
CUARTO Y ULTIMO TRIANGULO

Esto desarma a los que, en la discusión, han sugerido que la relación entre los lados del triángulo deben ser *siempre* de 5:4:3.

Finalmente (E) ha hecho ver que siempre se cumple la finalidad  $x^2 + y^2 = h^2$  en los triángulos rectángulos ( $3^2 + 4^2 = 5^2$  y  $5^2 + 12^2 = 13^2 = 169$ ).

La alumna (G) prosigue con Pitágoras (582-497), esta vez para mostrar sus famosos experimentos numérico-musicales con la cuerda tensa. El experimento lo realiza conjuntamente con (E), valiéndose de una caja de cuerdas musicales que se ha encontrado en el laboratorio:

Las armonías sonoras se producen cuando la proporción entre las longitudes de las cuerdas (AB:BC) es sencilla (2:1, 3:2, 4:3, etc.). La frecuencia de vibración es inversamente proporcional a la longitud de la cuerda.



CAJA DE CUERDAS MUSICALES

La intervención de (H) es para aclarar el carácter oculto de la escuela pitagórica y formula el peligro de que la Ciencia vuelva a adquirir en el futuro este carácter oculto si el hombre hace un repetido mal uso de ella.

Nuevamente (M) vuelve a tratar el tema de las ideas griegas acerca de la Química, exponiendo de manera esquemática los pensamientos de Heráclito (el fuego como elemento esencial, presidiendo el cambio continuo en la Naturaleza), Empédocles (teoría de los cuatro elementos) y Aristóteles (que amplía cualitativa y cuantitativamente la anterior teoría, añadiendo el quinto elemento: «éter»).

Este es el momento más adecuado para la intervención del alumno (H), que explica a la clase la identidad Filosofía-Ciencia en la Antigüedad y hace un comentario breve sobre las ideas esenciales del pensamiento de Aristóteles, resaltando en especial dos puntos: a) El desprecio hacia el experimento por parte del estagirita, razón esencial de la escasa contribución del gran filósofo al desarrollo de la Física; b) El peligro que encierra en la Ciencia el culto a las ideas de un solo hombre.

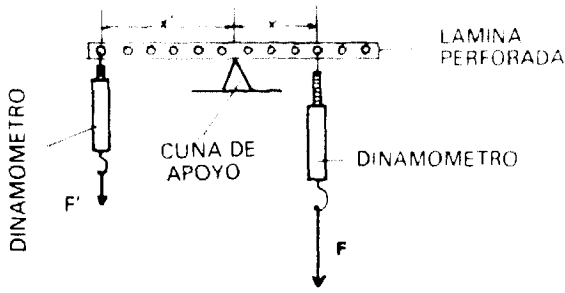
Naturalmente, (G) explica el significado de la palabra (FISIS), creación de Aristóteles. También va mostrando en un mapa de la Grecia Clásica las ciudades en las que nacieron o vivieron estos grandes sabios de la Humanidad: Samos, Mileto, Estágira, Abdera, Siracusa, Alejandría...

Volvemos a la Química, y (M) expone admirablemente la teoría atómica de Demócrito, la cual ha sobrevivido hasta nuestros días, aunque con profundas modificaciones.

Al llegar aquí el equipo de alumnos hace un paréntesis para encerrar la figura de un gran experimentador: Arquímedes.

Sobre el encerado, la alumna (D) ha dibujado un cilindro circunscrito a una esfera. El gran siciliano fue el primero en descubrir que la relación entre la superficie o el volumen del cilindro y los de la esfera era 3:2, y esta demostración ha sido realizada por (M) en la pizarra.

Como ya hemos dicho, Arquímedes experimentó incansablemente. Uno de sus experimentos es expuesto por (E) con el siguiente artificio:

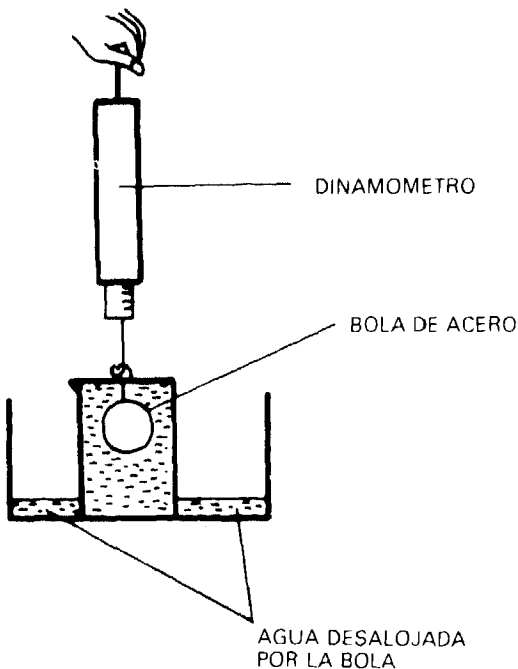


LA PALANCA DE ARQUIMEDES

La experiencia permite comprobar que  $F \cdot x$  se mantiene constante (Producto de la fuerza aplicada por su distancia al punto de apoyo).

Conjuntamente con este dispositivo, (E) muestra una romana que había en el laboratorio, aclarando que su funcionamiento se basa en los mismos principios de la palanca, y (H) establece y comenta las diferencias entre principio y proposición.

Acto seguido, el mismo alumno (H) expone el famoso caso de la corona del rey Hieron. Como es sabido, este rey sospechaba un fraude cometido en la realización de la corona, al ser incluida plata en la cantidad inicial de oro que se proporcionó al orfebre. (H) plantea ante la clase el problema, preguntando



EXPERIMENTO DEL PRINCIPIO DE ARQUIMEDES DE LOS CUERPOS SUMERGIDOS

por una posible solución. Se originan varias preguntas aclaratorias por parte del resto de la clase. Naturalmente, no tenemos oro ni plata, pero los alumnos del equipo se han provisto de unas cuantas bolas de vidrio y una bola de acero. Equilibran ésta con siete de aquellas con unas pesas. Después de esto, (E) introduce la bola de acero en un frasco lleno de agua hasta el borde y mide con una probeta la cantidad de agua desalojada. Repite la operación con las bolas de vidrio y explica la diferencia observada. Es-

to da la solución al problema planteado. (G) traduce la célebre palabra «¡Eureka!» exclamada por Arquímedes al hallar la clave buscada.

No podíamos omitir en esta experiencia la comprobación de la ley de Arquímedes de los cuerpos sumergidos. (E) la muestra y comenta por medio de un simple dinamómetro y una bola de acero sumergida en un vaso con agua hasta el borde.

La comprobación de que el peso del agua desalojada es idéntico al peso «perdido» por la bola ha provocado la admiración y entusiasmo en todos.

Termina la exposición experimental acerca de este gran físico con el comentario de un dibujo que (D) ha realizado sobre el encerado: el tornillo elevador de agua.

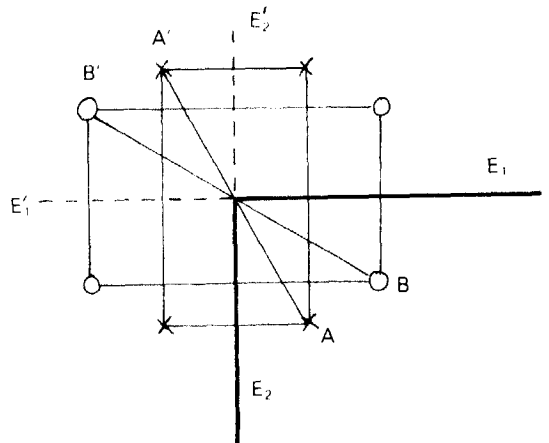
Arquímedes (muerto en 212 a. de C.) vivió en pleno escenario de las guerras púnicas, y (H) es el encargado de relatar el desarrollo histórico de las mismas. Asimismo da su opinión personal del problema de los científicos al servicio de la guerra. Se dice que Arquímedes al morir asesinado por un soldado romano exclamó: «¡noli tangere circulos meos!» (No toquéis mis círculos), refiriéndose a unos dibujos que había trazado en la arena. (H) hace un comentario de la actitud del gran siracusano y (G) traduce la frase en cuestión.

(M) introduce ahora la escuela alejandrina, hablando someramente de la espléndida situación cultural de Alejandría poco después de desaparecer la hegemonía ateniense.

(D) comenta el funcionamiento de un aparato de vapor a chorro inventado por el alejandrino Herón. Previamente ha dibujado el artificio sobre la pizarra.

¿Cómo podríamos leer un texto sin dificultad situándolo cara a un espejo? Esta pregunta ha sido formulada por (E), haciendo notar que las letras se ven «al revés» en un único espejo. Muestra entonces el experimento realizado por Herón colocando dos espejos perpendiculares y unidos por una arista común. El esquema explicativo lo ha realizado (D) sobre una gran cartulina:

- $E_1$  y  $E_2$ : Espejos reales.
- $E'$  y  $E''$ : Espejos virtuales.
- A, B: Objetos.
- $A'$ ,  $B'$ : Imágenes doblemente reflejadas.



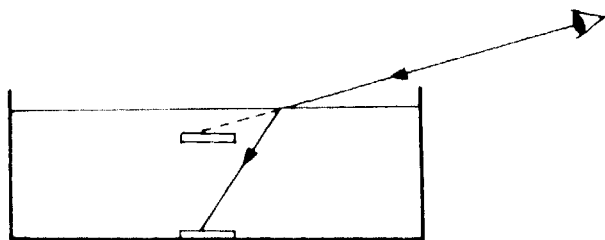
EXPERIMENTO DEL DOBLE ESPEJO DE HERON

Esto nos sirve, de pasada, para introducir de un modo cualitativo el fenómeno de la reflexión.

Herón era partidario de la teoría del rayo luminoso emitido por el ojo del observador, y argumentó falazmente acerca de la infinitud de la velocidad de la luz. Este hecho ha sido aprovechado por (H) para hablar acerca de las apariencias y argumentos erróneos en la Ciencia, dando como ejemplos significativos la teoría geocéntrica, la teoría del calórico, la del éter y la teoría aristotélica de las fuerzas. (Hay que hacer notar que estos datos se los hemos facilitado personalmente.)

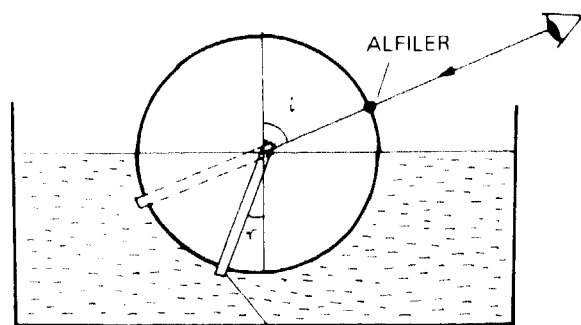
Finaliza el trabajo con un breve estudio de la figura de Ptolomeo, último miembro destacado de la escuela alejandrina. La exposición la realizan conjuntamente (E) y (M), iniciándose con un sencillo experimento sobre la refracción: una moneda que no puede verse cuando se halla en el interior de un recipiente opaco vacío y miramos a cierta altura, se hace, sin embargo, visible al llenar el recipiente de agua. Solamente un pequeño grupo de alumnos ha podido observar el fenómeno pero hemos invitado al resto a realizar personalmente la experiencia en su casa.

Una nueva discusión aparece para explicar el fenómeno de la refracción. (D) dibuja el proceso que tiene lugar: un cambio de dirección del rayo luminoso al pasar (según Ptolomeo) del aire al agua:



EXPERIMENTO DE LA MONEDA

(E) ha realizado un modelo de refractómetro similar al ideado por Ptolomeo con una tapa de un bote, un alfiler y una varilla de madera clavada en el centro de la tapa:



VARILLA MOVIL

REFRACTOMETRO DE PTOLOMEO  
(Ideado y construido por los alumnos)

Cuando la varilla y el alfiler se encuentran «aparentemente» en línea recta es posible medir el ángulo de incidencia y el de refracción. Se han medido varios valores para ambos ángulos mientras (D) muestra a la clase un esquema del refractómetro dibujado en una lámina (las láminas realizadas se han llevado posteriormente al laboratorio del Centro).

¿Existe alguna relación entre ángulo de incidencia y ángulo de refracción? Obviamente aumentan de un modo simultáneo. (M) realiza el cociente entre ambos y se obtienen valores groseramente próximos. Ptolomeo no llegó a descubrir la ley de la refracción pero nosotros hemos dado un paso más. (M) introduce las nociones de seno y coseno de un ángulo y efectúa después el cociente

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}}$$

para todos los pares de valores obtenidos, observándose un valor aceptablemente constante. (E) y (M) repiten la experiencia con benceno, obteniendo un valor ligeramente diferente para dicho cociente, el cual depende, según sabemos, de la sustancia utilizada.

### C) Conclusión

La experiencia ha resultado altamente positiva. No ha sido posible desarrollar aquí todos los detalles del proceso. Hemos tenido varias sesiones de trabajo preparatorio, especialmente durante los recreos, pero a los muchachos no les importó en absoluto perder su rato de esparcimiento; muy al contrario, acudieron entusiasmados al laboratorio para repetir los experimentos que más de dos mil años antes habían realizado los grandes sabios helénicos. Varios seminarios del Centro aportaron material para la confección del trabajo: diapositivas, mapas, libros, etc.

Personalmente he podido constatar que este trabajo interdisciplinar ha hecho posible los siguientes logros:

- Habituarse al alumno al manejo de bibliografía diferente de la usual (libro de texto).
- Aprender a expresarse ante los demás.
- Desarrollar la imaginación creadora del alumno.
- Comprensión del aspecto humano de la Ciencia.
- Adquisición de una cultura científico-histórica básica.
- Solidaridad y espíritu de equipo en el trabajo con los demás compañeros.
- Captación de la cultura humana (Ciencia, Filosofía, etc.) como un todo armónico.
- Adquisición de soltura en el trabajo de tipo experimental (hemos de destacar aquí que todos los experimentos fueron realizados con material sencillo).

Y todo esto por no hablar del enriquecimiento en la relación profesor-alumno que he podido constatar durante la realización en común del trabajo, ni de la adquisición de conocimientos físicos como el principio de Arquímedes, las leyes de la refracción luminosa, etc. En resumen, una experiencia alentadora para la realización de otras similares a lo largo del curso.

### D) Bibliografía básica utilizada

- ASIMOV, I.: «Breve historia de la Química». Alianza Editorial. Madrid, 1979.
- ASIMOV, I.: «Introducción a la Ciencia». Plaza y Janés. Barcelona, 1979.
- BERNAL, J.: «Historia social de la Ciencia». Editorial Península.
- GAMOW, G.: «Biografía de la Física». Alianza Editorial. Madrid, 1980.
- PAPP, D.: «Historia de la Física». Editorial Espasa-Calpe.

# VARIOS

## Definición, hipótesis y experimentación en la Ley de Coulomb

Por Antonio LOPEZ LOPEZ (\*)

Con mayor frecuencia de la debida se oye y se lee enunciados de la Ley de Coulomb que, además de ser incorrectos, traducen la no comprensión —o, al menos, el olvido— de las condiciones concretas en que el teorema más básico de la Electricidad se gestó, prescindiendo, por consiguiente, de los requisitos metodológicos imprescindibles para no dar una visión incongruente y distorsionada de la Electroestática.

No hay que extrañarse demasiado, habida cuenta que un científico de la talla de G. Gamow afirma en su «Biografía de la Física» (Ed. Revista de Occidente, Madrid, 1962) que «cargando la esfera móvil y la inmóvil con distintas cantidades de electricidad y variando la distancia entre ellas, Coulomb descubrió la ley que lleva su nombre, según la cual las fuerzas de atracción y repulsión eléctricas son directamente proporcionales al producto de las dos cargas e inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias entre ellas» (pág. 159).

Tal y como está redactado, este enunciado atribuye a Coulomb descubrimientos experimentales que ni hizo ni pudo hacer, por la sencilla razón de que el nivel científico de su época no lo permitía.

Pese al hecho de ser el autor de la ley fundamental de la Electricidad, Coulomb (1736-1806) se sintió siempre guiado por preocupaciones y métodos propios de la ingeniería. Ingeniero militar, fuertemente interesado por los problemas de la navegación, en 1779 presentó a la Academia de Ciencias de París un trabajo acerca de los procedimientos de imantación de agujas para compás, ganando el premio concedido por la corporación en concurso público.

En esta memoria, Coulomb establece por primera vez, implícitamente, el concepto de momento magnético, al mostrar que un imán situado en el seno del campo magnético terrestre se encuentra sometido a un par que le obliga a girar, siendo su valor proporcional al seno del ángulo formado por el campo y la aguja magnética. También estudia, al ocuparse de una aguja magnética suspendida por su centro

de gravedad, la teoría referente a la torsión de los hilos, exponiendo sus leyes de manera precisa.

Sus trabajos más importantes son, sin embargo, los publicados entre 1783 y 1789 (Coulomb: *Memoires de l'Academie Royale des Sciences*, 1784-1789).

En un trabajo de 1784, Coulomb prosigue sus estudios acerca de la elasticidad y describe por primera vez la balanza de torsión, aparato que permite la medida de fuerzas eléctricas sumamente débiles. Como suele ocurrir en casos similares, se han señalado desarrollos de esta balanza independientes del de Coulomb. J. D. Bernal menciona (*Science in History*, Watts Ltd. London, 1965) a Michell (1724-1793) y Cavendish (1731-1810). Sea como fuere, lo cierto es que los trabajos de Coulomb sobre la balanza de torsión y el uso que de este instrumento hizo, primero para medir fuerzas magnéticas, y luego eléctricas, han sido los que han tenido auténtica transcendencia científica.

Las memorias en las que se exponen los trabajos y conclusiones experimentales de Coulomb acerca de las fuerzas eléctricas fueron publicadas en 1785.

La primera se refiere a la «Détermination expérimentale de la loi suivant laquelle les éléments des corps électrisés du même genre d'électricité se repoussent mutuellement».

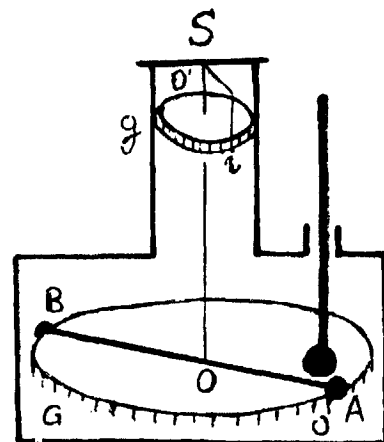


Figura 1

(\*) Catedrático de Física y Química e Inspector de Bachillerato.

El dispositivo experimental consiste en el receptáculo de vidrio representado en la figura 1. Del hilo de torsión  $O'O$ , de plata, pende una varilla AOB, aislante y liviana, cuyo centro de gravedad se encuentra en  $O$ .  $A$  y  $B$  son dos bolas muy pequeñas, de forma que pueden considerarse virtualmente puntuales.  $A$  está ligeramente plateada y  $B$  actúa como su contrapeso, de forma que la varilla AOB se encuentra en el plano horizontal. Solidario con el hilo  $OO'$ , el índice  $i$  marca ángulo sobre la graduación  $g$ . En el plano de AOB se encuentra otro círculo graduado,  $G$ , sobre el que se podrá seguir los arcos descritos por la esferita  $A$ .

Al iniciarse los experimentos, ésta se encuentra situada en el cero de la escala  $G$ . En este momento el par de torsión es nulo. Todo el dispositivo se encuentra en estado eléctricamente neutro.

Se carga a continuación la bola portadora de cargas,  $P$ , y se le baja hasta que toca  $A$ . La carga de  $P$  se reparte entonces entre  $A$  y  $P$ . Por supuesto, sin poder conocer la cantidad transferida en esta operación. Como ambas esferitas quedan ahora cargadas con electricidad del mismo signo, ambas se repelen. La esferita  $A$  se separa de la posición que ocupaba (en el cero de la escala  $G$ ), circunstancia que permite que ahora dicha posición, en el plano horizontal AOB, sea ocupada por  $P$ . Sean  $q$  y  $q'$  (desconocidas) las cargas sobre  $P$  y  $A$  respectivamente.

El alejamiento de  $A$  de su posición de equilibrio supone la torsión del hilo de plata  $OO'$ , lo que originará el consiguiente par de torsión.

Como se trata de experimentar a diferentes distancias entre las cargas, el método de medida de Coulomb consiste en hacer que el soporte  $S$  sobre el que está fijo el hilo  $OO'$ , solidario del índice  $i$ , gire ángulos  $\beta_1, \beta_2$  aproximando la bola  $A$  a  $P$ , hasta las posiciones marcadas por las graduaciones  $x_1, x_2, \dots$ , en el limbo  $G$ .

El par debido a la torsión del hilo será:

$$\Gamma_1 = C(x + \beta) \quad (1)$$

donde  $C$  es la constante de torsión del hilo  $OO'$ .

Admitamos —en espera de que la experimentación lo confirme o lo desmienta— que la fuerza electrostática desarrollada por las cargas  $q$  y  $q'$  sea:

$$f = k \cdot \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

siendo  $k$  la constante de proporcionalidad correspondiente a la inversa del cuadrado de la distancia entre las cargas,  $q$  y  $q'$ .

Llamando  $d$  a la distancia entre el centro de gravedad  $O$  de la varilla equilibrada AOB y las esferitas portadoras de carga,  $A$  y  $P$ , se tiene (figura 2):

$$r = 2d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad f = \frac{k}{4d^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \quad (3)$$

y el módulo  $\Gamma_2$  del par ejercido por  $f$  será

$$\begin{aligned} \Gamma_2 &= |\vec{d} \wedge \vec{f}| = d \cdot f \cdot \sin \theta = \\ &= d \cdot f \cdot \sin \left( \frac{\pi - \alpha}{2} \right) = d \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \end{aligned}$$

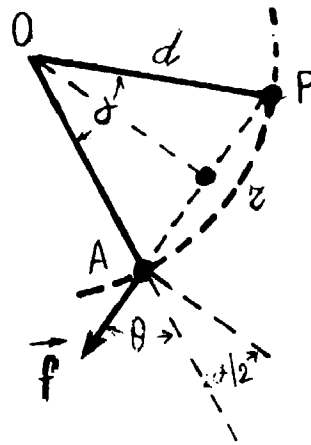


Figura 2

o sea que:

$$\Gamma_2 = \frac{k}{4d} \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}$$

la condición de equilibrio del sistema se expresa por

$$\Gamma_1 = \Gamma_2$$

$$C(x + \beta) = \frac{k}{4d} \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}} \quad \text{ó sea } (x + \beta) \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{k}{4Cd}$$

(4)

En la serie de experimentos de Coulomb

$$\frac{k}{4Cd} = \text{constante}$$

y para verificar la ley

$$f = f \left( \frac{1}{r^2} \right)$$

basta con que se cumpla que

$$\begin{aligned} (x + \beta) \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= (x' + \beta') \sin \frac{\alpha'}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} = \alpha_0 \sin \frac{\alpha_0}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2} &= \text{constante} \end{aligned}$$

siendo  $\alpha_0$  el valor particular de  $\alpha$  cuando  $\beta = 0$ .

Dado el grado de precisión de las medidas y como se opera de modo que  $x$  no sea grande (tal es, precisamente, la finalidad del giro  $\beta$ ), podemos confundir

$\sin \frac{\alpha}{2}$  y  $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$  con el arco  $\frac{\alpha}{2}$  quedando, pues:

$$\alpha^2(x + \beta) = \alpha_0^3 \quad (5)$$

En la primera experiencia de 1785, Coulomb registró el valor de  $\alpha_0 = 36^\circ$ . A partir de la fórmula [3] encontramos por cálculo:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{2} = 18 \quad \beta_1 = 126$$

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_0}{4} = 9 \quad \beta_2 = 567$$

Los valores  $\alpha$  experimentales encontrados por Coulomb al hacer girar al índice  $i$  los ángulos  $\beta$  así calculados son los de la siguiente tabla:

|          |            |             |               |
|----------|------------|-------------|---------------|
| $\beta$  | $0^\circ$  | $126^\circ$ | $567^\circ$   |
| $\alpha$ | $36^\circ$ | $18^\circ$  | $8^\circ 30'$ |

Así, pues, la verificación de la ley  $f = f(1/r^2)$  resulta excelente, incluso para  $\beta = 567^\circ$ , si tenemos en cuenta el valor tan elevado de la torsión que supone.

El método implica errores sistemáticos importantes: al no existir aislamiento perfecto se produce gradual dispersión de las cargas  $q$  y  $q'$ , puede aparecer por influencia una electrización de las paredes del receptáculo, y, sobre todo, el hecho de que las dos esferitas A y B no sean exactamente puntuales, debido a la influencia mutua, hace que las distancias entre los baricentros de sus distribuciones superficiales de carga sea superior a la distancia  $r$  entre sus centros geométricos. Esta razón explica el valor  $\alpha = 8^\circ 30'$ , encontrado experimentalmente y que es algo inferior al teórico.

De todos modos, parece evidente que la ley en  $1/r^2$  se encuentra verificada, ya que los resultados experimentales son incompatibles con  $1/r$  y con  $1/r^3$ . Haciendo los mismos cálculos con  $\alpha = 36^\circ$  y utilizando sucesivamente las leyes  $1/r$  y  $1/r^3$  se comprueba fácilmente que el cálculo daría:

|         |               |               |
|---------|---------------|---------------|
| $1/r$   | $\alpha = 18$ | $\beta = 54$  |
| $1/r^3$ | $\alpha = 18$ | $\beta = 270$ |

En el siglo XVIII y en buena parte del XIX, más o menos conscientemente, se consideró como un axioma que las leyes de la Naturaleza eran sencillas y, por consiguiente, nadie puso en duda la validez de la ley en  $f = k/r^2$ , postulando, por ejemplo, que la fuerza electrostática  $f$  podría ser expresada en la forma  $f = k/r^n$ , donde  $n$  sería un número no entero.

Debemos, pues, enunciar adecuadamente la ley de Coulomb afirmando, como él lo hizo, que experimentalmente se demuestra que la fuerza mutua ejercida entre dos cargas eléctricas es proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia que les separa. Y, en sentido estricto, nada más. He aquí sus propias palabras: «... l'action répulsive que les deux balles électrisées de la même nature d'électricité exercent l'une sur l'autre suit la raison inverse des carrés des distances».

También en 1785 publicó Coulomb otra memoria,

en la que describe su «Deuxième méthode expérimentale» para el estudio de las acciones ejercidas entre cargas de signo contrario.

En efecto, el método anterior no es el más adecuado en el caso de fuerzas atractivas, ya que fácilmente A y P pueden entrar en contacto, anulándose entonces las cargas. En el caso de las cargas de signo opuesto, el dispositivo utilizado por Coulomb es análogo al descrito anteriormente, excepto en un detalle esencial: el hilo de plata es sustituido por un hilo sin torsión, hecho de seda, constituyendo así un péndulo de torsión.

La esferita A del dispositivo móvil (fig. 3) es portadora de la carga negativa  $-q$ . La varilla AOB se encuentra en el plano horizontal que contiene el centro C de la esfera P, portadora de la carga positiva  $+q$ . La distancia A-P es grande comparada con el radio de P y las dimensiones del péndulo. Debido a la atracción electrostática ejercida entre  $-q$  y  $+q$ , la esferita A estará en equilibrio cuando se encuentre alineada (y del lado de P) con la esferita P, con O y con B, es decir, en la posición  $A_0$ . Separada de esta posición un ángulo  $\varphi$  empezará a oscilar. Sea  $d$  la distancia entre el centro geométrico de las esferita A y el eje de oscilación en O. Hagamos que  $\varphi$  sea un ángulo muy pequeño, de forma que PA sea prácticamente invariable durante el movimiento. Escribiremos la ecuación fundamental de la dinámica para el péndulo en la forma

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = - \frac{k}{r^2} \cdot d \cdot \text{sen } \varphi \quad (6)$$

siendo  $I$  el movimiento de inercia del dispositivo móvil y  $r$  la distancia entre las esferas P y A.

Las restricciones impuestas a  $\varphi$  nos permiten escribir para el período  $T$ , de las oscilaciones:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k d}} \quad r = k' \cdot r$$

siendo la constante  $K'$

$$k' = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k d}} \quad (7)$$

Según el cálculo anterior, el período del péndulo es proporcional a la distancia  $r$  entre las esferitas A y P. Las medidas efectuadas por Coulomb mostraron un aceptable grado de coincidencia entre las previsiones teóricas y los datos experimentales:

|  |    |    |      |
|--|----|----|------|
| Distancias proporcionales a los números  | 3  | 6  | 8    |
| Duración experimental de 15 oscilaciones | 20 | 41 | 60   |
| Duración calculada de 15 oscilaciones    | 20 | 40 | 53,3 |

Coulomb llega a la conclusión siguiente: «Nous pouvons conclure que l'attraction réciproque du fluide électrique appelé positif, sur le fluide électrique nommé ordinairement négatif, est en raison inverse du carré des distances». Y nada más.

En las conclusiones que resumen el sentido de sus experimentos y constituyen el enunciado de una ver-

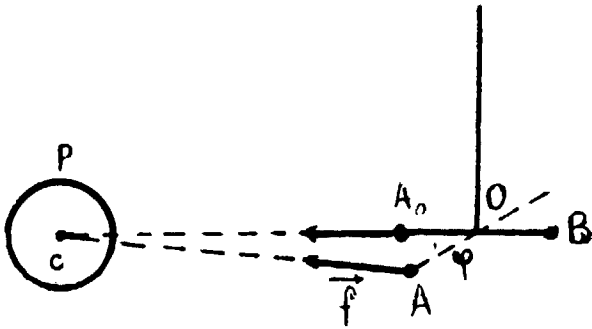


Figura 3

dadera ley se omite deliberadamente la mención del papel desempeñado por las cargas. La razón es muy sencilla. Basta examinar las fórmulas [2], [4], [5], [6], [7] para comprobar que si hubiésemos introducido en la primera de ellas las cargas eléctricas afectadas de exponentes cualesquiera, las otras cuatro fórmulas siguientes no se hubieran visto afectadas en su carácter. Coulomb sabía perfectamente que no había demostrado que las fuerzas ejercidas fuesen proporcionales al producto de las cargas elevadas a exponente uno.

Es el momento de señalar, sin embargo, que, en realidad, en las dos memorias de 1785, Coulomb sentó la hipótesis de la proporcionalidad de las fuerzas y el producto de las cargas, por lo que se hubiera podido traducir legítimamente el pensamiento de Coulomb mediante la fórmula

$$f = k \frac{qq'}{r^2} \quad (8)$$

en lugar de la [2], anteriormente escrita. Si no introdujimos antes las cargas en la expresión de  $f$ , fue precisamente para subrayar el diferente carácter de ambas magnitudes, cargas y distancias, en el enunciado de la ley.

La hipótesis de que las fuerzas electrostáticas son proporcionales a las cargas le fue sugerida, sin duda, a Coulomb por las analogías existentes entre el campo eléctrico y el gravitatorio, ya que ambos variaban de idéntica manera con la distancia y se podía hablar de cumplimiento del Principio de Acción y Reacción, puesto que las fuerzas ejercidas por una carga sobre la otra origina una fuerza de igual magnitud y sentido opuesto sobre la segunda carga.

El hecho de la existencia de dos tipos de cargas e, incluso, el concepto imperante en la época de la electricidad como fluido, aunque no encajasen dentro de la teoría newtoniana de la gravitación, tampoco se oponían frontalmente a ella.

J. Priestley había publicado, en 1767, su «History of Electricity». En ella describe experimentos anteriormente realizados por Franklin y repetidos, en 1766, por él mismo, demostrando que en el interior de un conductor electrizado no existe carga eléctrica alguna. Este resultado es totalmente comparable al teorema newtoniano que demuestra que en el interior de una esfera hueca el campo gravitatorio de sus masas es nulo.

Como se ve la analogía formal entre la Ley de la Gravitación Universal y la que iba a convertirse en la Ley Fundamental de la Electroestática estaba sugerida por los conocimientos de la época.

La evaluación de las cargas sólo pudo ser abordada posteriormente, mediante el cilindro de Faraday (1791-1867), de todos conocido (fig. 4). El calibrado

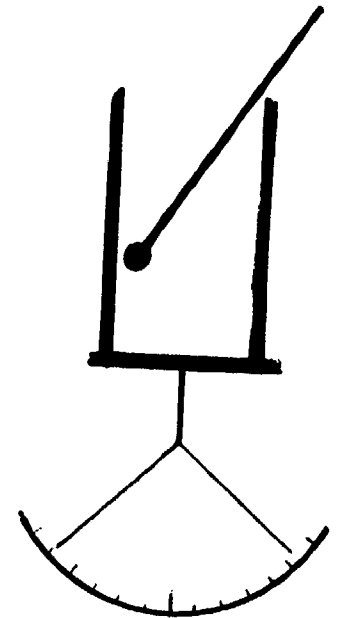


Figura 4

del cilindro, midiendo la separación de las hojas del electroscopio para diferentes cargas permite su medida relativa y, por tanto, si se encuentra el modo de transportarlas a la balanza de Coulomb, se tendrá un método válido para determinar sin ambigüedad la validez de la fórmula [8]. Naturalmente, desde el punto de vista práctico, el cilindro de Faraday dista mucho de resolver el problema, y las medidas de cargas por métodos electroquímicos o electromagnéticos tampoco sirven a nuestro propósito. Así pues, es forzoso el carácter apriorístico atribuido actualmente a la ley de Coulomb (en su sentido lato). Escrita en la forma

$$\vec{F} = -\frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qq'}{r^2} \vec{r}_0$$

La Ley de Coulomb es un ente sumamente complejo en el que cabe distinguir los siguientes aspectos:

a) Expresa una relación proporcional, demostrada experimentalmente, entre las fuerzas y la inversa de las distancias entre las cargas (Ley de Coulomb propiamente dicha).

b) Admite, por hipótesis, que las fuerzas ejercidas entre cargas eléctricas son proporcionales al producto de sus valores.

c) Caracteriza a cada medio dieléctrico por una constante  $\epsilon$  que le es propia. El valor de  $\epsilon$  para el vacío,  $\epsilon_0$ , es elegido de modo que se relacionen de manera sencilla las magnitudes eléctricas y magnéticas (en el S. I.).

d) Contiene la definición de la unidad de carga eléctrica.

e) Incluye un factor de forma,  $4\pi$ , destinado a una mejor adecuación de la expresión matemática de las distribuciones superficiales y espaciales de magnitudes eléctricas con las dimensiones geométricas de los soportes electrostáticos.

# Aproximación a la Teoría de los Quarks

---

Por Manuel Ramón FERNANDEZ PEREZ (\*)

---

Todos sabemos que la materia es divisible hasta un límite, todavía no bien precisado, designado con el nombre de partícula elemental. Una partícula elemental es, por consiguiente, aquélla que carece de estructura interna y que no se puede descomponer en otras partículas constituyentes más sencillas. Ahora bien, si se revisan las diversas teorías que se han ido formulando, a lo largo de la historia, acerca de la estructura de la materia, podemos comprobar que, a medida que, merced a los nuevos descubrimientos experimentales, las partículas consideradas elementales iban adquiriendo un número prohibitivo, surgía una nueva teoría, en seguida comprobada en la práctica, que, especulando sobre la posibilidad de subdivisión de tales partículas en otras aún más simples, hacía decrecer su número considerablemente. Así, según los antiguos filósofos griegos a partir de Empédocles, todas las sustancias eran combinaciones de cuatro elementos: tierra, aire, fuego y agua; pero los descubrimientos sucesivos hicieron que dos milenios más tarde se llegasen a conocer 92 elementos químicos distintos, compuesto cada uno de ellos de un tipo estructuralmente diferente de átomos. Estos 92 átomos distintos pueden considerarse las «partículas elementales» de la materia conocidas por los químicos en los comienzos del siglo actual. Fue entonces cuando el estudio de la estructura interna de los átomos hizo posible explicar su complejidad numérica en función de sólo tres tipos de partículas elementales: protones, neutrones y electrones.

Pero en las últimas décadas se fueron sucediendo los descubrimientos. A medida que la técnica experimental fue disponiendo de aceleradores de partículas más potentes, se fueron detectando cada vez más «partículas elementales», llegando a superar su número las 200. Lógicamente, un número tan elevado de partículas hacía necesaria su clasificación, del mismo modo que los 63 elementos químicos conocidos en 1869 trajeron consigo el Sistema Periódico de Mendelejeff y Lothar Meyer. Primero las partículas se dividieron en dos grandes grupos: hadrones y leptones, según su tipo de interacción (fuerte o débil, respectivamente), y los hadrones, a su vez, en bariones (de spin semiimpar; siguen la estadística de Fermi-Dirac) y mesones (de spin entero o nulo; obedecen la estadística de Bose-Einstein). En 1961, Murray Gell-Mann, del Instituto de Tecnología de California, y Yuval Ne'eman, de la Universidad de Tel Aviv, independientemente uno de otro, dieron a conocer una clasificación de los hadrones en familias, basada en la teoría de grupos y conocida con el nombre de «eightfold way» (camino óctuple). Este esquema de clasificación tiene como grupo asociado el famoso SU (3), y, de acuerdo con ello, todos los hadrones de una misma familia tienen idéntico momento angular

de spin, diferenciándose entre sí las partículas de cada familia mediante dos números cuánticos: el spin isotópico y la hipercarga, los cuales pueden tomar distintos valores y sus posibles combinaciones determinan el número de miembros de cada familia (uno u ocho para los mesones y uno, ocho o diez para los bariones).

El gran éxito de esta clasificación consistió en predecir la existencia de una partícula entonces desconocida, la  $\Omega^{-}$  (1), que fue buscada y descubierta en 1964. Pero, sin embargo, a la representación fundamental del SU (3) no correspondía ninguna de las partículas conocidas, y ello motivó que en 1963, de forma independiente, Murray Gell-Mann y George Zweig, ambos del Instituto de Tecnología de California, consideraran necesario, como artificio matemático para la solución del problema, la introducción de unas partículas ficticias, a las que, basándose en un pasaje de la obra *Finnegans Wake*, de James Joyce, en el que se lee: *Three quarks for Musther Mark*, designaron con el nombre de *quarks*. Originalmente, se postularon tres clases o «sabores» de quarks (y sus antiquarks correspondientes), descritos también mediante un grupo de simetría SU (3), y simbolizados mediante las letras «u», «d» y «s», que son respectivamente las iniciales de las palabras un tanto fantásticas «up» (arriba), «down» (abajo) y «sideways» (oblicuo) o «strange» (extraño). El número cuántico de spin de los tres quarks es 1/2, distinguiéndose los tres miembros de cada familia, aparte de por otros números cuánticos, por sus diferentes valores del spin isotópico y de la hipercarga. La carga eléctrica del quark u es + 2/3, mientras que la de los d y s vale - 1/3; por el contrario, el número bariónico de los tres quarks es el mismo: B = + 1/3. En cuanto a la extrañeza, los quarks u y d tienen extrañeza cero, mientras que la del quark s es -1. Los correspondientes números cuánticos de los antiquarks u, d y s son los mismos, pero de signo contrario.

La gran importancia de este modelo de los quarks estriba en que constituye una enorme simplificación de la naturaleza, pues reduce toda la multitud de hadrones conocidos a unos pocos quarks fundamentales. Todos los hadrones están constituidos por quarks: los bariones por tres quarks; los antibariones

---

(\*) Catedrático de Física y Química del I. B. «Calderón de la Barca», de Gijón (Oviedo).

(1) Nótese la semejanza entre esta predicción y la de Mendelejeff, dejando huecos libres en su Sistema Periódico, que más tarde fueron cubiertos al descubrirse los elementos correspondientes.



por tres antiquarks, y los mesones por un quark y un antiquark. Además, todos los números cuánticos de un hadrón se obtienen sumando los correspondientes números cuánticos de sus quarks constituyentes, de forma que todas las combinaciones permitidas de quarks originan hadrones conocidos, sin que ninguna otra combinación sea capaz de hacerlo. Así, el protón está constituido por dos quarks u y un quark d; su carga eléctrica es

$$Q = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1 ;$$

su número bariónico:

$$B = +\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = +1 .$$

y su extrañeza:

$$S = 0 + 0 + 0 = 0 ;$$

mientras que el mesón  $K^+$  está formado por un quark u y un antiquark s ( $\bar{s}$ ), siendo su carga:

$$Q = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} = +1 ;$$

su número bariónico:

$$B = \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0 ,$$

y su extrañeza:

$$S = 0 + 1 = +1$$

Aunque no existe en la actualidad ninguna prueba convincente de la existencia de quarks aislados, es necesario reseñar que, a finales de los años 60, los experimentos de dispersión inelástica de electrones de alta energía por protones, llevados a cabo por Richard E. Taylor, del SLAC (Stanford Linear Accelerator Center), y Jerome I. Friedman y Henry W. Kendall, del MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts), pusieron de manifiesto la existencia de partículas de alrededor de  $1/3$  de fermi de radio (probablemente quarks) dentro de los protones.

En 1970, Sheldon Lee Glashow, John Iliopoulos y Luciano Maiani dedujeron teóricamente la existencia de un nuevo quark, «c», llamado quark encantado («charmed»), que lleva asociado un nuevo número cuántico, designado con el nombre de encanto («charm»), postulado por vez primera por James D. Bjorken, del SLAC, y Sheldon Lee Glashow, de la

Harvard University, y que se conserva en las interacciones fuertes y electromagnéticas. Este nuevo quark hizo posible la explicación de las corrientes neutras con cambios de extrañeza, detectadas en 1973 por un grupo de investigadores del CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), a la vez que recibió una brillante confirmación experimental cuando en 1974 Burton D. Richter y sus colaboradores del Stanford Linear Accelerator Center y Samuel C. C. Ting y colaboradores del Brookhaven National Laboratory descubrieron las partículas  $\psi$ , que contienen encanto oculto (son estados ligados de encanto y antiencanto) y más tarde con la descripción de partículas con encanto aparente (estados ligados de quarks con encanto y sin encanto).

De esta forma, en 1975 se conocían dos familias de partículas elementales: la primera, compuesta por dos leptones (electrón y neutrino electrónico) y dos quarks (el u y el d), y la segunda también por dos leptones (muón y neutrino muónico) y otros dos quarks (el c y el s), pero en ese mismo año se descubrió el leptón  $\tau$  (tau), y posiblemente su neutrino asociado,  $\nu_\tau$  (neutrino tauónico), tal vez distinto del neutrino electrónico, a la vez que existen indicios casi irrefutables de la existencia de un nuevo quark, «b», llamado fondo o belleza («bottom»), y ello implica, probablemente, en orden a completar la tercera familia de partículas elementales, la existencia de otro quark, el «t», llamado cima o verdad («top»).

Si bien es grande el parecido entre los leptones y los quarks, en base a que tanto unos como otros son partículas puntuales, sin dimensiones, carentes de estructura interna y con spin igual a  $1/2$ , no obstante, se diferencian en varios aspectos fundamentales: en primer lugar, mientras los quarks participan en las interacciones fuertes, los leptones interaccionan débilmente; por otra parte, mientras los leptones son incapaces de asociarse unos con otros, los quarks se agrupan de una manera matemáticamente definida (tres quarks, tres antiquarks o un quark y un antiquark), dando origen a los hadrones.

A pesar de todo el innegable atractivo de esta teoría de los quarks, existía originalmente un fallo muy importante, que no se puede dejar sin señalar. Con objeto de que a todos los hadrones les correspondiese el spin correcto encontrado experimentalmente, era necesario asignar a cada quark un número cuántico de spin de  $1/2$ , con lo cual, al tratarse de partículas de spin semi-impar, deberían obedecer la estadística de Fermi-Dirac, y, por consiguiente, el principio de exclusión de Pauli, de acuerdo con el cual dos partículas idénticas (en este caso, quarks) no pueden ocupar el mismo estado, o, lo que es lo mismo, en un hadrón no pueden existir dos quarks con los mismos números cuánticos.

En los mesones no se presenta problema alguno, al estar formados por un quark y un antiquark, con números cuánticos diferentes; sin embargo, en los bariones (o antibariones), integrados por tres quarks (o tres antiquarks), dos de ellos por lo menos han de tener sus spines alineados de idéntica forma, e incluso en algunos casos los spines de las tres partículas son del mismo sentido, vulnerándose, al menos en apariencia, el principio de exclusión. Con objeto de paliar este inconveniente, O. W. Greenberg, de la Universidad de Maryland, sugirió que los quarks, en vez de obedecer la estadística de Fermi-Dirac, seguían unas normas un tanto especiales, llamadas paraestadísticas de Fermi de orden tres, de acuerdo con las cuales podían hasta tres partículas ocupar un

PROPIEDADES DE LOS QUARKS

| Nombre (1) | Símbolo | Carga (Q) | Postulado | (2)<br>Descubierto | Spin | Número bariónico B | Número cuántico interno | Masa (4)      |
|------------|---------|-----------|-----------|--------------------|------|--------------------|-------------------------|---------------|
| up         | u       | +2/3      | 1963      | —                  | 1/2  | 1/3                | Spin isotópico (3)      | 1,5-5 MeV     |
| down       | d       | -1/3      | 1963      | —                  | 1/2  | 1/3                | Spin isotópico (3)      | 4-10 MeV      |
| charmed    | c       | +2/3      | 1970      | 1974               | 1/2  | 1/3                | Encanto                 | 1500-1700 MeV |
| strange    | s       | -1/3      | 1963      | 1974               | 1/2  | 1/3                | Extrañeza               | 200-300 MeV   |
| top        | t       | +2/3      | —         | 1977               | 1/2  | 1/3                | Verdad                  |               |
| bottom     | b       | -1/3      | 1977      | —                  | 1/2  | 1/3                | Belleza                 | 4500-5000 MeV |

(1) Para cada quark existe un antiquark con sus número cuánticos opuestos.

(2) Hasta la actualidad no se ha logrado aislar ningún quark. La fecha de descubrimiento de cada sabor que figura en la tabla indica el año en que fue descubierta una partícula formada exclusivamente por ese sabor.

(3) Los quarks «u» y «d» corresponden cada uno a cada una de las dos direcciones del espacio del spin isotópico.

(4) La masa de los quarks no está bien definida, ya que no se pueden encontrar libres, sino sólo ligados.

mismo estado. Parece, sin embargo, más convincente la solución propuesta por H. Y. Han, de la Universidad de Duke, A. Tawkhelidze, del Instituto de Investigación Nuclear de Rusia, Y. Miyamoto, de la Universidad de Tokio y Yoichiro Nambu, de la Universidad de Chicago. Estos científicos, basándose en la cromodinámica cuántica, atribuyen a cada quark tres posibles estados, distinguibles entre sí por un nuevo número cuántico al que se llamó «color» y para cuyos valores se eligieron los tres colores primarios: rojo (R), verde (V) y azul (A), reservándose para los antiquarks los llamados anticolores, que son los colores complementarios de los primarios: R, V y A. Este nuevo número cuántico es inobservable, de forma que no hay manera de distinguir entre sí quarks idénticos pero de distinto color, lo cual motiva que pueda haber hasta tres quarks, iguales en los demás números cuánticos y sólo discernibles en cuanto a su color, ocupando el mismo estado. Dicho con otras palabras: la hipótesis del color equivale, en lo esencial, a la paraestadística de Fermi. Evidentemente, para que la hipótesis del color resuelva el problema de la estadística de los quarks, es necesario que los tres quarks integrantes de un barión o los tres antiquarks que forman un antibarión tengan colores diferentes entre sí y que el quark y el antiquark de cada mesón sean de colores complementarios, de manera que todos los hadrones, tanto los bariones como los mesones, al ser promedios incoloros de los tres colores, se pueden considerar como «blancos» o carentes de color. Como sólo es posible observar partículas sin color, es lógico que existan solamente en la naturaleza las combinaciones de quarks antes mencionadas, que son las únicas capaces de originar hadrones incoloros. El hecho de introducir la hipótesis del color en la teoría de los quarks no hace aumentar el número de posibles hadrones; sin embargo, como es lógico, triplica el número de quarks, que pasa de esta forma a ser de 18.

Del mismo modo que los «sabores» de los quarks se describen mediante un grupo de simetría SU (3), la introducción del color implica la consideración de un nuevo grupo SU (3), de color, en el que los colores de los quarks vienen caracterizados por otros dos números cuánticos: el spin isotópico de color y la hipercarga de color; pero, al contrario que el sabor, cuya simetría no es perfecta, pues los quarks de distintos sabores tienen masas y cargas eléctricas diferentes, el color es una simetría exacta, dado que su

introducción no origina ninguna diferencia másica, ni de otro tipo, en un sabor de quark.

Los quarks integrantes de un hadrón interactúan fuertemente entre sí, pues de otro modo tendría que resultar fácil liberarlos, cosa que hasta la fecha no se ha logrado. Se supone que la interacción fuerte se basa en el color de los quarks, de un modo similar a como la carga eléctrica es quien determina la interacción electromagnética, pero mientras esta última se transmite mediante una sola clase de fotones, para explicar las interacciones entre los quarks son precisos ocho campos, así como ocho clases de partículas transmisoras, a las que se da el nombre de *gluones* (del inglés glue = cola de pegar), que pueden considerarse como los cuantos de los campos gluónicos. Los gluones (que, al igual que los fotones, tienen masa nula y número cuántico de spin igual a la unidad) son partículas coloreadas: sus colores son compuestos y se obtienen a través de combinaciones de los tres colores y los tres anticolores fundamentales. Es evidente que el número total de tales combinaciones es nueve, pero como una de ellas, concretamente la RR + VV + AA, es incolora, se prescinde de ella, resultando finalmente ocho gluones coloreados. La interacción de los quarks tiene lugar, por consiguiente, merced al intercambio de gluones, en virtud del cual cambian de color, manteniendo, empero, su sabor característico. Este cambio continuo de color se verifica de acuerdo con las reglas de la probabilidad: no se puede en un determinado momento saber con certeza el color de los quarks; a lo más que se puede aspirar es a conocer la probabilidad de que un quark tenga un color determinado, lo cual se traduce en que, dado que los hadrones carecen de color, las probabilidades para los tres colores serán iguales.

En resumen, se puede considerar, en la actualidad, que los leptones y los quarks son los constituyentes elementales de la materia, en un número total de 6 leptones y 18 quarks (de acuerdo con la hipótesis del color), todos ellos de spin 1/2, agrupados en tres familias (véase cuadro adjunto). Aceptando, como parece ser natural, la existencia de las antipartículas correspondientes, el número total de partículas elementales se eleva a 48, no existiendo ninguna razón teórica que impida el descubrimiento de más familias de partículas elementales. De hecho, hasta 1975 sólo se conocían dos familias de partículas, y sólo en ese año apareció en escena la tercera familia al des-

## FAMILIAS DE PARTICULAS ELEMENTALES

|                 | LEPTONES        |                                   | QUARKS         |  |                |  |
|-----------------|-----------------|-----------------------------------|----------------|--|----------------|--|
| Primera familia | e<br>(electrón) | $\nu_e$<br>(neutrino electrónico) | u<br>(up)      | $\left\{ \begin{array}{l} R \\ V \\ A \end{array} \right.$ | d<br>(down)    | $\left\{ \begin{array}{l} R \\ V \\ A \end{array} \right.$ |
| Segunda familia | $\mu$<br>(mu)   | $\nu_\mu$<br>(neutrino muónico)   | c<br>(charmed) | $\left\{ \begin{array}{l} R \\ V \\ A \end{array} \right.$ | s<br>(strange) | $\left\{ \begin{array}{l} R \\ V \\ A \end{array} \right.$ |
| Tercera familia | $\tau$<br>(tau) | $\nu_\tau$<br>(neutrino tauónico) | t<br>(top)     | $\left\{ \begin{array}{l} R \\ V \\ A \end{array} \right.$ | b<br>(bottom)  | $\left\{ \begin{array}{l} R \\ V \\ A \end{array} \right.$ |

cubrirse la partícula tau. Es necesario tener en cuenta, además, las partículas W, Z,  $\gamma$  y gluones, todas ellas de spin 1 y responsables de las interacciones entre las demás partículas elementales. En la naturaleza son las partículas de la primera familia las que desempeñan el papel más importante, interaccionando entre sí de la misma forma que lo hacen las cuatro partículas de la familia segunda o tercera (así, en los procesos radiactivos ordinarios un quark «u» se transforma en otro «d» y viceversa), pero estas últimas, que son de vida media mucho más breve, se desintegran, por medio de la interacción débil, originando partículas de la primera familia. Por otra parte, mientras se conocen interacciones entre quarks de distintas familias, no sucede lo mismo con los leptones, así como tampoco se conocen cambios de leptones en quarks, ni de quarks en leptones.

Ahora bien, tras todas estas consideraciones, cabe la posible duda de si los leptones y los quarks son, en realidad, partículas elementales, o si, por el contrario, como ya ha sucedido muchas veces en el transcurso de la historia de la Física, no surgirán nuevos descubrimientos que pongan de relieve la existencia de una subestructura tanto dentro de los quarks como de los leptones. Afortunadamente, la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad descartan por completo tal posibilidad. En efecto, distintos métodos experimentales conducen a un límite superior de diámetro para el electrón de  $10^{-15}$  cm., pudiendo también asignarse este mismo valor límite a los restantes leptones y a los quarks. En el caso hipotético de que quarks y leptones tuviesen partes constituyentes, éstas habrían de encontrarse confinadas en una región del espacio de  $10^{-15}$  cm. de diámetro, conociéndose su posición en cada instante con una indeterminación  $\Delta x < 10^{-15}$  cm. De acuerdo con el principio de incertidumbre de Heisenberg, el momento de tal partícula tiene una indeterminación de

$$\frac{h}{\Delta x} = \frac{6,6 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}}{6,28 \cdot 10^{-15} \text{ cm}} > 1 \cdot 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

siendo su energía cinética, según la teoría de la relatividad, mayor que el producto de su momento por la velocidad de la luz. Por consiguiente:

$$E_c > 1 \cdot 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \\ = 3 \cdot 10^{-2} \text{ erg} =$$

$$= 3 \cdot 10^{-2} \text{ erg} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{1,6 \cdot 10^{-6} \text{ erg}} \cdot \frac{1 \text{ u.m.a.}}{931,2 \text{ MeV}} > 20 \text{ u.m.a.}$$

Esta energía cinética de la partícula constituyente implicaría un aumento de masa de, por lo menos, 20 u.m.a., lo cual es muy poco probable, ya que, de ser así, debería haber una equivalencia total entre la energía de enlace de las partículas constituyentes y su energía cinética, fenómeno sumamente raro en Física. Puede, pues, aceptarse, sin reservas de ningún tipo, que tanto los leptones como los quarks son partículas elementales, desprovistas de toda subestructura.

Hasta la fecha no ha sido posible detectar la presencia de ningún quark aislado. Esto, en principio, puede significar que, aun a pesar de existir libres, no se haya logrado su detección, tal vez por haber sido confundidos con otra partícula ordinaria. Sin embargo, este razonamiento no es convincente, pues los quarks, de existir aislados y al tratarse de partículas con carga eléctrica, se detectarían fácilmente por la ionización producida en los átomos del medio que atraviesan, con la salvedad además de que, al ser su carga fraccionaria, la intensidad de la ionización originada sería distinta de la ocasionada por una partícula cuya carga eléctrica fuese la unidad, pudiendo distinguirse de ella con toda facilidad.

Se ha argumentado (H. Y. Han y Yoichiro Nambu; 1965) la posibilidad de que tanto la carga de los quarks como su número bariónico no sea fraccionaria. Esta suposición, que es enteramente factible, trae como consecuencia la visualización del color de los quarks, ya que los quarks de diferentes colores se pueden distinguir unos de otros por sus diferentes masas, números bariónicos y cargas eléctricas. Dado un sabor de quark, toda la carga eléctrica (+ 1 ó - 1) se asigna a un color, mientras que los otros dos colores quedarán con carga nula: según esto, como los tres colores han de intervenir por igual en la constitución de los hadrones, las cargas obtenidas para éstos coinciden con las encontradas experimentalmente. Si se admite como cierto el modelo de Han y Nambu, dada la similitud de carga entre los bariones y los quarks, podría suceder que los quarks libres (caso de existir) pasasen desapercibidos en las experiencias y fuesen confundidos con los bariones.

Algunos físicos han apuntado también la suposición de que si los quarks no se encuentran aislados no es porque haya imposibilidad intrínseca de que existan fuera de los hadrones, sino porque en la ac-

tualidad no disponemos de aceleradores de partículas de la suficiente energía para liberarlos. Sin embargo, el aceptar esta hipótesis equivale a considerar una gran diferencia de masa entre un quark libre y otro ligado, hasta el punto de hacerse la masa de un quark aislado varias veces mayor que la de un barión. Por otra parte, algunas partículas de los rayos cósmicos sí tienen la suficiente energía para, al menos en teoría, ser capaces de liberar los quarks, y, en efecto, en 1969 varios científicos australianos comunicaron haber detectado corpúsculos de carga fraccionaria entre la lluvia de partículas producidas por los rayos cósmicos; sin embargo, esta información no fue muy tenida en cuenta, a falta de otras confirmaciones posteriores.

Lo cierto es que hasta la fecha, a pesar de todos los intentos experimentales realizados, no ha sido posible probar la existencia de quarks libres, y se postula como explicación de este fracaso el hecho de que los quarks no pueden existir aislados porque hay un mecanismo que los «confinan» permanentemente en el interior de los hadrones. Se han formulado en la última década varios modelos de confinamiento de los quarks, entre los que vamos a mencionar los tres siguientes:

a) *Modelo de la esclavitud infrarroja*: Este modelo se basa en la variación de la carga de color del quark con la distancia; ambas magnitudes son proporcionales, de modo que la fuerza entre dos quarks coloreados no obedece, ni mucho menos, a la ley de Coulomb: a medida que la distancia entre ellos aumenta, la fuerza permanece constante, o incluso podría aumentar, de donde se deduce que la energía necesaria para separar dos quarks se hará mayor conforme aumenta la distancia entre ellos, y conseguir su separación exigiría un consumo de energía verdaderamente prohibitivo, superior a la necesaria para la creación de un par quark-antiquark. Si se va incrementando paulatinamente la energía suministrada a un hadrón, se acaba por materializar un par quark-antiquark, pero sucede que el quark recientemente creado ocupa el lugar del extraído, con el cual se une el antiquark formando un mesón, de modo que, en vez de un quark libre, lo que realmente se observa es la creación del mesón correspondiente.

b) *Modelo de la cuerda*: Este modelo, cuyo origen se remonta a las fórmulas matemáticas de Gabriele Veneziano, del Weizmann Institute of Science, se basa en considerar a los hadrones como cuerdas unidimensionales, sin masa, flexibles y extensibles, provistas de un rápido movimiento de rotación, y, por consiguiente, con una cierta energía cinética y potencial. Una de las propiedades intrínsecas de la cuerda es su tensión constante por unidad de longitud, de modo que sus extremos tienden a aproximarse el uno hacia el otro, impulsados por una fuerza constante, siendo neutralizada esta tendencia por la fuerza centrífuga derivada de su movimiento de rotación, teniendo que cumplirse, ya que la cuerda carece de masa, que los extremos de ésta giren con la velocidad de la luz.

Hasta este punto, el modelo se encuentra en perfecto acuerdo con los resultados experimentales alcanzados por el físico italiano Tullio Regge, el cual, al representar gráficamente el momento angular de los hadrones en función del cuadrado de su masa o energía, obtuvo una serie de líneas rectas paralelas, llamadas, en su honor, trayectorias de Regge. En efecto, de las consideraciones preliminares antes

mencionadas se deduce que el momento angular de la cuerda es proporcional al cuadrado de su energía total.

Por otra parte, los quarks se encuentran situados en los extremos de la cuerda, firmemente sujetos a ella, de forma que será completamente imposible hacerles abandonar la situación que ocupan, pudiendo solamente separarlos tensando aún más la cuerda y haciendo aumentar su longitud, a costa de un suplemento de energía cada vez mayor, y que, obviamente, llega a hacerse prohibitivo. Lo que sí puede suceder es que la cuerda se rompa en dos mitades originándose un par quark-antiquark, que, al unirse a los dos extremos de ruptura recientemente formados, da lugar a la creación de un mesón, de una forma en cierto modo análoga a la derivada del modelo de la esclavitud infrarroja.

Este modelo de la cuerda, que fue perfeccionado posteriormente por Holger B. Nielsen y L. Olesen, del Instituto Niels Bohr, de Dinamarca, resulta arbitrario en algunos puntos. Mientras que los mesones se pueden simbolizar por una cuerda con un quark y un antiquark en sus extremos, la estructura posible para los hadrones no parece nada evidente: podría ser un triángulo con un quark fijado en cada vértice, o una estrella de tres puntas con un quark en cada una de ellas. Ahora bien, las trayectorias de Regge para los mesones y los bariones son similares, lo cual sugiere la posibilidad de que su configuración interna sea también análoga, y en virtud de ello una estructura posible para los bariones sería la de una cuerda única con un quark en un extremo y dos quarks en el otro. No obstante, como, en virtud de esta configuración, los colores pueden asociarse a los quarks de tres maneras diferentes no equivalentes entre sí, parece probable que el barión tenga una estructura en resonancia entre estas tres configuraciones.

Por otra parte, la consideración de los números cuánticos spin isotópico de color e hipercarga de color obliga a introducir en el modelo la existencia de dos clases de cuerda, cada una de las cuales transporta el campo asociado con uno de los números cuánticos (véase figura).

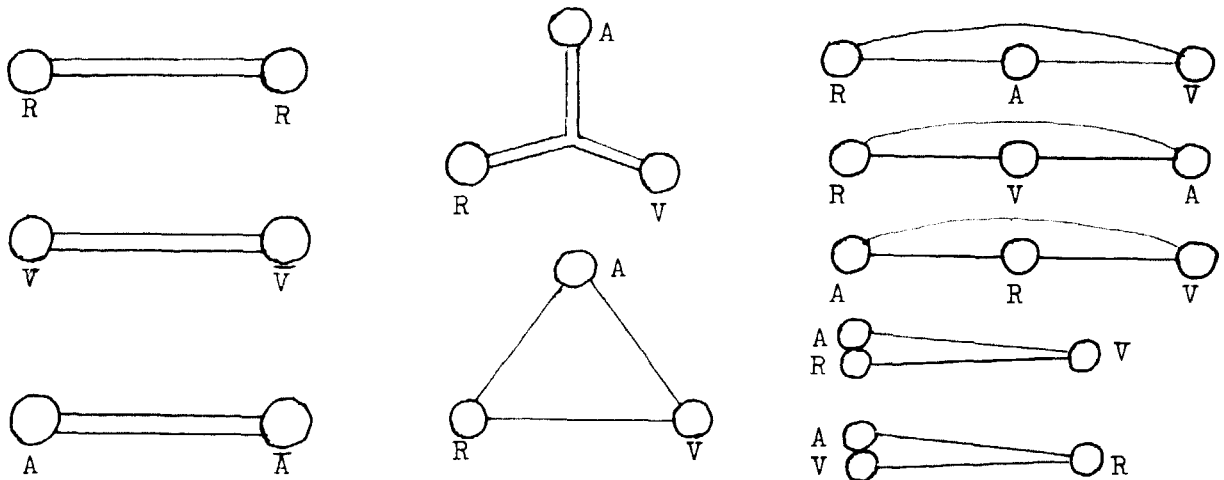
Pero, a pesar de todos los refinamientos que se le han incorporado, el modelo de la cuerda se ve incapaz de explicar los ocho gluones asociados a las interacciones entre los quarks, así como los cambios de color inherentes a tales interacciones, en las cuales no se altera la masa y las demás propiedades del hadrón. Todo esto representa un grave problema, cara a posibles desarrollos futuros del modelo.

c) *Modelo de la bolsa o burbuja*: Este modelo fue propuesto por Kenneth A. Johnson, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, y parte de la suposición de considerar a los hadrones como bolsas o burbujas en el espacio, dentro de las cuales se encuentran confinados los quarks, moviéndose libre e independientemente, como las moléculas de un gas, pero sin poder salir al exterior: el hecho de intentar arrancar un quark de la burbuja choca con la interacción de confinamiento. Ahora bien, el movimiento de los quarks origina una presión contra las paredes de la bolsa, que hace aumentar su volumen, estableciéndose el equilibrio cuando la presión de los quarks en el interior de la burbuja es igual a la presión de confinamiento, habiéndose fijado el valor de la constante de la bolsa,  $B$  (densidad de energía necesaria para su hinchamiento) en unos 55 MeV/fermi cúbico. Este valor de equilibrio determina el tamaño

## CONFIGURACIONES POSIBLES DE LOS HADRONES SEGUN EL MODELO DE LA CUERDA

Mesones

Bariones



*En negro se representa la cuerda asociada al spin isotópico de color y en azul la asociada a la hipercarga de color.*

de los hadrones, de modo que separar sus quarks constituyentes requerirá cantidades de energía ilimitadamente grandes.

El modelo de la bolsa para el confinamiento de los quarks se encuentra en íntima relación con la cromodinámica cuántica, en el sentido de que el color de un quark es inobservable, porque observar un color equivaldría a ver un quark libre. Las líneas de fuerza de color que unen entre sí a los quarks (de un modo parecido a como las líneas de fuerza de un campo eléctrico conectan entre sí a las cargas) no pueden atravesar la superficie de la bolsa, quedando confinadas en su interior; de este modo, el problema del confinamiento de los quarks queda reducido al confinamiento de color. Así, la cromodinámica, junto con el modelo de la bolsa, son capaces de explicar algunas propiedades de los hadrones hasta ahora inexplicables, como, por ejemplo, su producción, la autoaniquilación de un electrón y un positrón a muy altas energías, o las diferencias de masa observadas entre los hadrones cuyos quarks tengan spines alineados y aquéllos cuyos spines sean opuestos. El éxito futuro de este modelo depende de su capacidad para explicar otras propiedades de los hadrones, cuando alcance un grado suficiente de desarrollo. Lo que sí parece innegable es la gran semejanza teórica entre el modelo de la cuerda y el de la bolsa: mientras que en el primero el tamaño del hadrón viene determinado por la relación crítica energía/longitud, en el segundo esta relación es energía/volumen. La semejanza se acrecienta aún más si tenemos en cuenta que la bolsa se puede considerar como una cuerda extremadamente gruesa y que sometida a un movimiento de rotación suficientemente rápido se estira cada vez más hasta convertirse en una cuerda unidimensional. Quizás el modelo de la bolsa sea el más adecuado para representar el estado fundamen-

tal de los hadrones, mientras que sus estados excitados y de rotación se explican mejor con el modelo de la cuerda.

Cada uno de estos tres modelos presenta sus ventajas e inconvenientes: todos explican algunas propiedades de los hadrones y dejan otras sin explicar, por lo que ninguno de ellos puede considerarse como ideal. Tal vez suceda aquí como en otros campos de la Física, en que el modelo final se ha obtenido combinando las partes aprovechables de los modelos parciales, y acaso el avance más significativo en esta dirección sea el de Kenneth G. Wilson, de la Universidad de Cornell, que imagina la materia como una red, con celdas del tamaño de hadrones, ocupadas por quarks, unidos por cuerdas, a lo largo de las cuales se propagan los campos gluónicos de color.

He hecho hasta aquí un resumen divulgativo de la teoría de los quarks. Hasta ahora los descubrimientos experimentales no han sido capaces de dar el respaldo definitivo a la teoría, pues si los quarks, en virtud de su confinamiento, no pueden ser aislados, ni siquiera observados, tal vez nunca sea posible demostrar su existencia. Pero, a pesar de ello, puede decirse que la teoría de los quarks ha sido aceptada universalmente. No obstante, ha habido (y sigue habiendo) científicos de gran relieve, como, por ejemplo, Werner Heisenberg, contrarios por entero a ella. Dice Heisenberg (transcribo textualmente dos párrafos tomados de su ensayo: *¿Qué es una partícula elemental?*, ponencia presentada en el Congreso de la Sociedad Alemana de Física el 5 de marzo de 1975 y publicada en *Die Naturwissenschaften* 63, págs. 1-7 (1976) Springer (1976): «... temo que la hipótesis de los quarks no sea tomada en serio por sus autores. El problema de la estadística de los quarks, de las fuerzas que los mantienen unidos, de las partículas a que corresponden esas fuerzas, de los motivos

por los que los quarks nunca se presentan como partículas libres, de la producción de pares de quarks en el interior de la partícula elemental... todos esos problemas permanecen más o menos en tinieblas. Si se quisiera tomar verdaderamente en serio la hipótesis de los quarks, habría que hacer un Ansatz matemático preciso de su dinámica y de las fuerzas que los mantienen unidos y habría que demostrar que ese planteamiento es capaz de explicar, al menos cualitativamente, los muchos y diversos rasgos que se conocen hoy en física de partículas. No debe haber ningún problema de la física de partículas al que no se pudiera aplicar tal planteamiento. No conozco ningún intento de esa índole, pero me temo que cualquier ensayo en tal sentido, formulado en lenguaje matemático preciso, cabría refutarlo de inmediato. Formularé por tanto mis objeciones en forma de pregunta: Tras la hipótesis de los quarks, ¿no se esconderá la idea, refutada experimentalmente hace tiempo, de que es posible distinguir partículas simples y compuestas?... «En la vertiente teórica habrá que intentar establecer hipótesis precisas acerca de la dinámica subyacente de la materia; de esa dinámica se trata. Lo demás sería una especie de sopa de palabras en torno a tabulaciones, con el riesgo de que éstas fuesen más ricas en contenido que la sopa». Para Heisenberg son más importantes las simetrías fundamentales que las estructuras. Y así afirma (1):... «Lo que realmente hace falta es un cambio en los conceptos fundamentales. Tendremos que abandonar la filosofía de Demócrito y el concepto de partícula elemental. Y en lugar de ello deberíamos aceptar el concepto de simetrías fundamentales que deriva de la filosofía de Platón» (debemos recordar que frente a la concepción de Demócrito, según el cual la división de la materia acaba por conducirnos a los átomos, de los cuales se componen todas las sustancias, Platón opinaba que en el intento de dividir indefinidamente se llegaba a formas matemáticas: los cuerpos regulares de la estereometría, que pueden definirse por sus propiedades de simetría, y los triángulos con los que puede formar aquéllos. Aunque estas formas no sean materia la conforman. Así, bajo el elemento tierra subyace la forma del cubo, bajo el elemento fuego la del tetraedro). «Así como Copérnico y Galileo abandonaron en su método la ciencia descriptiva de Aristóteles y tomaron la ciencia estructural de Platón, también es probable que en nuestros conceptos tengamos que abandonar el materialismo atómico de Demócrito y recurrir a las ideas de simetría de la filosofía platónica.» Y vuelve a recalcar sobre el mismo tema en una conferencia pronunciada ante la Academia de Ciencias de Estocolmo el 24 de abril de 1974, titulada: «El papel de la física de partículas elementales en el desarrollo actual de la ciencia» (fue publicada en Documenta de la Academia de Estocolmo, 1974): ...«Volviendo al tema de si en la física de partículas se han descubierto estructuras fundamentales de la naturaleza, mi opinión es que se han hallado las simetrías fundamentales. Con la expresión "simetría fundamental" que-remos decir que la ley natural de la cual dependen el

espectro de partículas y sus interacciones es invariante bajo determinados grupos de transformaciones. Estos grupos definen el espacio total en el cual se da el mundo real. Los grupos más importantes son probablemente el grupo de Lorentz, que define el espacio y el tiempo; el grupo SU (2), que dice en relación con los fenómenos electromagnéticos; y el grupo escalar, que es responsable del comportamiento asintótico a energías extremadamente altas. Es esta estructura de grupos lo que realmente investigamos en la física de partículas y lo que es fundamental. Un cambio tan radical en el sistema de conceptos de la ciencia —pasar de las partículas elementales a las simetrías fundamentales— no es aceptado tan fácilmente; porque de preguntas como "¿de qué se compone en último término la materia?" o "¿los protones pueden escindirse mediante colisiones muy energéticas?" es arduo deshacerse. Pero pienso que los experimentos han demostrado de una vez por todas que esas preguntas carecen de sentido, aunque parezca muy abstracto. Sólo se obtendrán respuestas definitivas cuando los abundantes detalles de los fenómenos se investiguen tanto experimental como teóricamente; y eso es lo que se hace en los grandes laboratorios de la física de partículas. La conclusión final en lo que toca al papel de esta rama de la física en la ciencia moderna parece ser ésta: la física de partículas nos informa realmente acerca de estructuras fundamentales de la naturaleza, no acerca de partículas fundamentales....»

¿Debemos dar crédito a Heisenberg o, por el contrario, la teoría de los quarks irá adquiriendo cada vez mayor consistencia, dirigiéndose hacia la búsqueda de las simetrías fundamentales, con una explicación cada vez más profunda de la constitución de la materia? La respuesta a esta pregunta está fuera de los límites de este trabajo, a la vez que rebasa mis conocimientos sobre el tema.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

- CLINE, DAVID B., MANN, ALFRED K., y RUBBIA, CARLO: «La búsqueda de nuevas familias de partículas elementales». *Revista Investigación y Ciencia*, mes de octubre de 1976; págs. 20-31.
- NAMBU, YOICHIRO: «El confinamiento de los quarks». *Revista Investigación y Ciencia*, mes de enero de 1977; págs. 52-65.
- SCHWITTERS, ROY, F.: «Partículas fundamentales con encanto». *Revista Investigación y Ciencia*, mes de diciembre de 1977; págs. 32-48.
- YNDURAIN, FRANCISCO JOSÉ: «Teorías unificadas de las interacciones fundamentales». *Revista Investigación y Ciencia*, mes de marzo de 1978; págs. 6-15.
- JOHNSON, KENNETH A.: «El modelo en bolsa del confinamiento de los quarks». *Revista Investigación y Ciencia*, mes de septiembre de 1979; págs. 76-86.
- HEISENBERG, WERNER: «Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos». Alianza Editorial; 1979.

---

(1) «La tradición en la ciencia», conferencia pronunciada el 24-4-1973 en Washington, en el Simposio de la Smithsonian Institution y la National Academy of Sciences, publicada en *Science and Public Affairs-Bulletin of The Atomic Scientists* 29, N.º 10, pág. 410 (1973) y en *The Nature of Scientific Discovery*, editada por O. Gingerich, Smithsonian Institution Press 1975.

# Una fuente de energía inagotable y no contaminante: el Sol

---

Por Andrés ARRIBI LOPEZ (\*) y Fernando HERNANDEZ GUARCH (\*\*)

---

## INTRODUCCION

En la sociedades industrializadas, el consumo de energía aumenta de un modo alarmante. Los precios del petróleo no cesan de subir y las disponibilidades de combustibles fósiles (petróleo y carbón) serán cada vez menores. La energía nuclear viene a paliar esas necesidades, pero entraña un grave riesgo para la población y los fallos en una instalación de este tipo suelen tener consecuencias fatales e irreparables. Todas estas formas de energía son además contaminantes del medio ambiente.

Por estas y otras razones, el hombre ha de buscar nuevas fuentes alternativas de energía.

Con el presente trabajo pretendemos divulgar una serie de aplicaciones y tecnologías de la energía solar para que puedan ser fácilmente comprendidas por las mentes a que nos dirigimos, al mismo tiempo que cubrir un hueco que los actuales planes de estudio han olvidado en los programas del B. U. P.

## LA ENERGIA SOLAR ES INAGOTABLE Y NO CONTAMINANTE

La energía consumida en USA en 1970 fue igual a la energía del Sol recibida por una superficie equivalente al 0,15 por 100 de la total de este país. Suponiendo que esa energía hubiese sido utilizada con un rendimiento del 10 por 100, USA se habría abastecido de energía cubriendo con colectores solares un 1,5 por 100 de su superficie. Esta energía habría sido, además, no polucionante.

Entre las aplicaciones más importantes de la energía solar tenemos: 1) La calefacción y refrigeración de edificios. 2) La conversión química y biológica de materias orgánicas en combustibles líquidos, sólidos y gaseosos. 3) La generación de electricidad. 4) La obtención de agua potable.

En USA, el 25 por 100 de la energía total consumida (nos referimos al año 1972) lo fue en calefacción, aire acondicionado y agua caliente. La mitad de esta energía podría haber sido solar y a un coste competitivo con los combustibles fósiles, y habría reducido el consumo de los mismos en un 12 por 100 aproximadamente.

El Sol es una esfera gaseosa a muy alta temperatura, de un diámetro de  $1,39 \times 10^6$  km. y situada a

una distancia de  $1,5 \times 10^8$  km. Gira sobre su eje aproximadamente una vez cada cuatro semanas.

La superficie del Sol se encuentra a una temperatura efectiva de  $5.762^\circ\text{K}$ . La temperatura aproximada en el núcleo se calcula entre  $8 \times 10^6$  y  $40 \times 10^6$  K, siendo su densidad de unas cien veces la del agua. El Sol es, en efecto, un reactor de fusión continuo, constituido por gases sostenidos por la fuerza de la gravedad.

La energía radiada por el Sol se produce en el interior de la esfera solar, transmitiéndose a la superficie y siendo posteriormente radiada al espacio.

Para muchos fines es suficiente considerar el Sol como un cuerpo negro emitiendo aproximadamente a  $5.762^\circ\text{K}$ .

La constante solar es la energía del sol, por unidad de tiempo, recibida sobre la unidad de área de una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación extraterrestre, en una distancia promedio anual Tierra-Sol. Las mediciones directas más recientes dan como valor para esa constante  $1.353 \text{ W/m}^2$  ( $1940 \text{ Cal/cm}^2 \text{ min.}$ ).

Radiación directa es la radiación solar recibida desde el Sol sin cambio de dirección.

Radiación difusa es la radiación solar recibida desde el Sol después de que la reflexión y la difusión por la atmósfera hayan cambiado su dirección.

## ATENUACION DE LA RADIACION DIRECTA

La cantidad de energía radiante recibida en la superficie de la Tierra procedente del Sol, no es constante, debido a: 1) Variaciones en la distancia Tierra-Sol. 2) Variaciones en la difusión debida a las moléculas de aire, vapor de agua y polvo, y 3) Variaciones en la absorción atmosférica por  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ .

La radiación normal incidente en la atmósfera terrestre, tiene una distribución espectral indicada en la figura 1.

---

(\*) Profesor agregado de Física y Química del I. B. «Isabel de España», de Las Palmas de Gran Canaria.

(\*\*) Profesor agregado de Matemáticas del I. B. «Tomás Morales» de Las Palmas de G. Canaria.

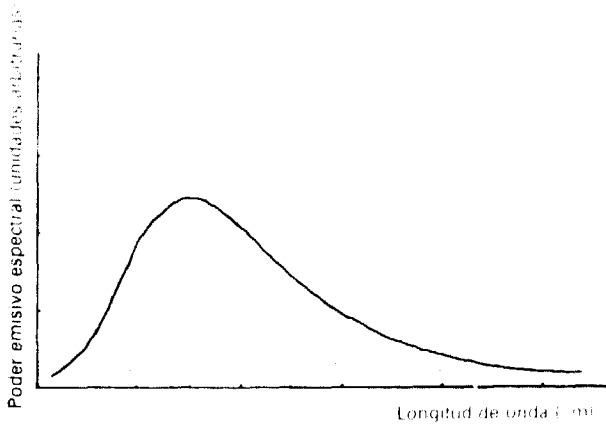


FIGURA 1.—Distribución espectral de la radiación solar normal incidente en la atmósfera terrestre.

Los rayos X y otras radiaciones de onda corta del espectro solar son absorbidos en gran proporción en la ionosfera por el  $N_2$ ,  $O_2$  y otros componentes atmosféricos; la mayor parte del ultravioleta queda absorbido por el ozono. Así, desde el punto de vista de aplicaciones terrestres de la energía solar, sólo hace falta considerar la radiación de longitudes de onda entre 0,29 y 2,5  $\mu m$ . Esta radiación se transmite a través de la atmósfera, sufriendo atenuaciones debidas a la difusión y absorción.

En el ultravioleta, la absorción se debe principalmente al ozono, siendo casi total por debajo de 0,29  $\mu m$ .

En el infrarrojo, la absorción se debe principalmente al vapor de agua y dióxido de carbono, siendo casi total por encima de 2,3  $\mu m$ .

Los componentes de la atmósfera esparcen una parte de la radiación solar y algo de esta radiación esparcida llega al suelo. Así, siempre hay algo de radiación difusa aún en momentos de cielos muy claros. Con cielo muy nublado toda la radiación que llega al suelo será difusa.

### DISPONIBILIDAD DE ENERGIA SOLAR. INSTRUMENTOS PARA MEDIRLA

Para el diseño y aplicaciones solares pueden usarse medidas de la radiación tomadas en la localidad en cuestión o pueden hacerse cálculos aproximados de la radiación solar a partir de datos meteorológicos.

Para llegar a formulaciones útiles y poder conocer la energía disponible en un proceso solar hay que conocer los métodos de medición de la radiación solar, la naturaleza de los datos disponibles y la manipulación de dichos datos.

Hay varias formas de usar los datos sobre radiación solar. Una es utilizar el término medio de energía solar disponible para calcular el rendimiento medio de un proceso. Puede haber así serios errores. Otra es usar datos horarios o diarios del lugar en cuestión, y sobre esta base estimar el rendimiento futuro. Este método se utiliza en general en simulación de procesos. Un tercer método es reducir los datos de radiación por tratamiento estadístico para predecir el rendimiento del proceso.

Las medidas de la radiación solar se refieren a la energía por unidad de tiempo y unidad de área sobre una superficie horizontal. Los instrumentos para estas mediciones convierten la radiación en alguna

otra forma de energía y facilitan una medida del flujo de energía producido por la radiación. La unidad de medida es el langley ( $1 \text{ cal cm}^2$ ).

Los informes meteorológicos utilizan varios términos que son de interés para la comprensión del tema que estamos tratando.

Pirheliómetro es un instrumento que mide la radiación solar directa de una pequeña parte del cielo.

Piranómetro es un instrumento que mide la radiación solar (directa y difusa) de todo el hemisferio.

Los piranómetros más corrientes se basan en la detección de la diferencia de temperaturas entre superficies negras, mediante pares termoeléctricos, que dan señales de milivoltios que pueden medirse e integrarse sobre un tiempo.

Además de las mediciones de radiación está extendido el uso de instrumentos para registrar la duración del Sol brillante. El más antiguo utiliza una lente esférica que produce una imagen del Sol sobre un papel sensible, que se quema cuando la radiación directa está por encima de un nivel crítico. Las longitudes de las zonas quemadas del papel proporcionan un índice de la duración del Sol.

Existen datos disponibles sobre radiación solar que son útiles a la hora de predecir las zonas de aplicaciones potencialmente mejores, para el aprovechamiento de la energía solar.

### CAPTACION DE LA ENERGIA SOLAR. COLECTORES PLANOS Y CONCENTRADORES

El tipo de aparato que ha de usarse para captar la energía solar depende, en principio, de la aplicación que de ella vaya a hacerse. Los colectores planos se usan para obtener agua caliente y en calefacción de edificios, pero no pueden suministrar temperaturas superiores a 60 °C. Si se desean temperaturas más elevadas hay que utilizar colectores de concentración. Si lo que deseamos es convertir directamente la energía solar en energía eléctrica, necesitaremos células fotovoltaicas, ya sea con concentradores o sin ellos. Para decidir la clase de colector que ha de usarse para cada aplicación específica hay que tener en cuenta, fundamentalmente, los factores económicos.

Un colector plano consiste en una caja paralelepédica aplastada cuyo fondo es una placa negra y su parte superior un vidrio o plástico transparente a la luz solar, estando aislados el fondo y los laterales de la caja por su parte exterior (véase fig. 2).

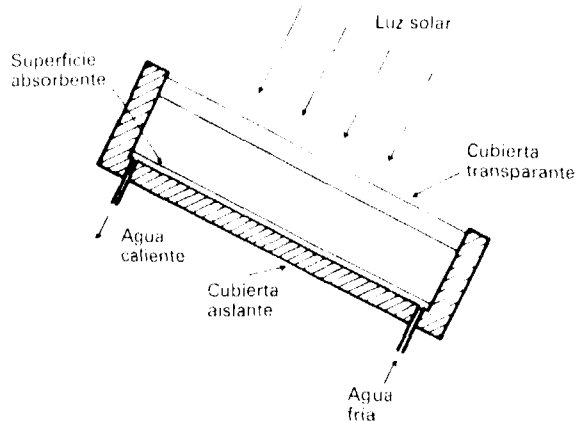


FIGURA 2.—Colector solar plano.



La placa negra se calienta al absorber la radiación solar y emite radiación infrarroja, a la cual es opaca la cubierta del panel solar. De esta forma hay una ganancia de calor que es absorbido por un fluido (agua o aire) que circula en contacto con el fondo negro. Este fenómeno se conoce con el nombre de efecto invernadero y es aplicado y conocido desde los tiempos más remotos de la antigüedad.

En ciertos países de clima templado húmedo o frío (Galicia), las construcciones de galerías proporcionan con este efecto un caldeo general en las casas a que pertenecen, paliando en buena medida el problema de la calefacción doméstica.

Interesa que el aprovechamiento de la radiación solar sea máximo. Para ello los colectores han de orientarse hacia el sur y con una inclinación que depende de la latitud del lugar y de que sea invierno o verano.

Para generar energía eléctrica de un modo eficiente y para secados en la industria y la agricultura, así como en otras aplicaciones en las que se necesitan temperaturas superiores a los 120 °C, hay que usar concentradores solares.

Un método de concentrar la luz del Sol es utilizando una lente. Todos hemos quemado trocitos de papel o madera de esta forma. Sin embargo, para concentrar grandes cantidades de energía solar, harían falta lentes enormes que, por lo mismo, son inviables.

Se emplean, en cambio, sistemas reflectores. Para altas concentraciones se usan espejos en forma de paraboloides, que concentran la energía solar en un foco. Para concentraciones medias se usan espejos parabólicos cilíndricos, que concentran la energía solar en su eje focal. En ambos casos se necesitan importantes estructuras de soporte y servosistemas de seguimiento respecto al Sol.

Evidentemente, con los concentradores solares no pueden obtenerse temperaturas superiores a la del Sol. Pero debido a la atenuación producida por la atmósfera y a otras causas, las temperaturas que se obtienen en los hornos solares son de aproximadamente 3.500 °C.

## CALEFACCION DE CASAS Y EDIFICIOS

La creciente demanda de los combustibles fósiles y de otras fuentes convencionales de energía harán que en los próximos años la energía solar tenga un papel preponderante en lo que se refiere a calefacción, aire acondicionado y agua caliente para edificios.

Un sistema solar típico utiliza colectores planos situados sobre el tejado de la casa, usando como fluido agua o un líquido anticongelante si el clima es muy frío en invierno. El agua muy caliente se almacena en un depósito convenientemente aislado y el agua templada sigue recirculando hacia el colector. El agua caliente puede usarse directamente o bien para caldear habitaciones.

Los colectores planos pueden usarse para calentar aire directamente. El inconveniente más grave es el almacenamiento de este aire caliente, que requiere materiales porosos y depósitos de un volumen mucho mayor que en el caso del agua.

En Francia se ha puesto a punto un sistema económicamente atractivo que consiste en pintar de negro y cubrir de vidrio las paredes orientadas al sur. El sol calienta la pared y el aire circula por convección natural a través de dos trampillas situadas en las partes

baja y alta de la habitación. La pared negra sigue radiando calor aun después de ocultarse el sol. En verano, la trampilla superior se cierra, abriéndose otra hacia el exterior, por donde sale el aire de la habitación, que así se mantiene fresca.

La técnica más simple para calentar y enfriar una casa es disponer en su terraza una piscina con cubiertas aislantes. El agua está contenida en bolsas de plástico. En invierno el agua se calienta hasta unos 30° C durante el día. De noche se cubre la piscina para evitar pérdidas. En verano se cubre de día y se abre de noche, enfriándose el agua por radiación hacia el exterior. Con este sistema en Phoenix (Arizona) se mantenían temperaturas de unos 20° C aun cuando las temperaturas ambiente alcanzaran los 42° C. La piscina utilizada tenía 3 × 3,5 m<sup>2</sup>.

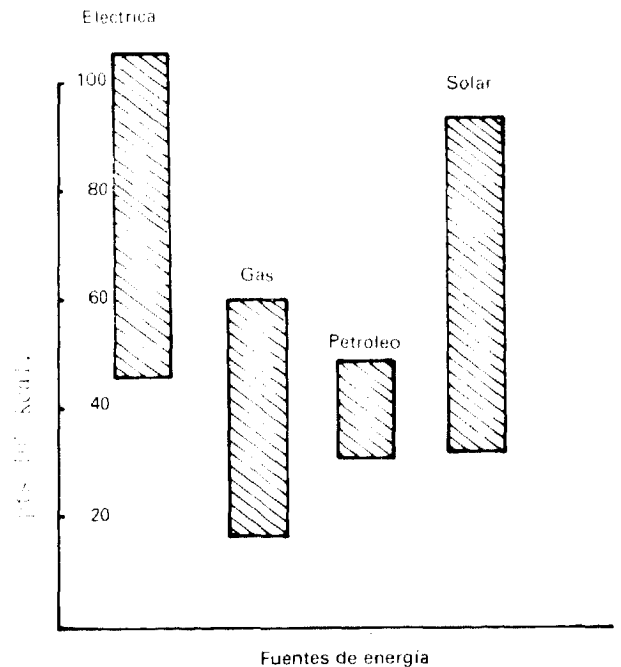


FIGURA 3.—Coste de la energía calorífica obtenida de distintas fuentes de energía.

Como puede apreciarse en la figura 3, es más barato el calor por energía solar que por energía eléctrica y más caro que por gas o petróleo.

Puesto que los precios del gas y del petróleo aumentan de un modo continuo y la tecnología para aprovechamiento de la energía solar avanza cada día, los sistemas solares de calentamiento serán cada vez más competitivos.

En muchos países se está imponiendo el uso de calentadores de agua por energía solar. En Japón hay más de dos millones y medio de calentadores solares de diferentes tipos que suministran agua caliente a unos 54° C en verano y a 27° C en invierno, variando su coste entre 7.000 y 14.000 pesetas aproximadamente. En U. S. A., con unos 6 m<sup>2</sup> de colectores se puede obtener el 75 por 100 del agua caliente necesaria para un apartamento. También se utilizan calentadores solares que funcionan con gas y electricidad en los períodos en que la insolación es insuficiente. El mismo sistema se usa para precalentar el agua antes de su entrada a un calentador de gas

convencional. De esta manera se reduce el consumo de gas y electricidad para calentar agua.

En Israel se habían instalado más de cien mil calentadores solares en el año 1965; los primeros fueron vendidos con tres años de garantía, que pronto fue elevada a cinco años y más.

La energía solar también se usa para tener aire acondicionado, usando calor solar para accionar un sistema refrigerador de absorción térmica. En los refrigeradores que funcionan con energía eléctrica, un compresor mantiene en circulación un vapor tal como amoníaco, que es licuado una y otra vez, absorbiendo calor de un recipiente aislado en el proceso de evaporación, que de esta forma se enfría. En la refrigeración solar el ciclo es similar, salvo que la presión se produce calentando una disolución concentrada de amoníaco para tener una elevada presión de vapor, en vez de comprimir el vapor mecánicamente.

A principios de 1960, en la Universidad de Florida se construyó y probó un sistema de este tipo para tener aire acondicionado, siendo accionado por agua calentada por calor solar a temperaturas entre 60° C y 100° C.

## PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

Para convertir la energía solar en electricidad existen varias formas. Actualmente, las que más prometen desde un punto de vista tecnológico, son la conversión fotovoltaica y la conversión térmicosolar. La primera es una conversión directa de la energía solar en electricidad mediante células solares, cuyo principio de funcionamiento es el efecto fotoeléctrico. Sus principales ventajas son su elevada eficacia y su bajo mantenimiento, siendo sus más notables inconvenientes la dificultad de almacenar grandes cantidades de electricidad para uso posterior, y su elevado costo.

Existen compañías que venden pequeños módulos para energía solar que producen 1,5 W con una insolación de 100 MW/cm<sup>2</sup>. La electricidad se almacena en baterías que aseguran un suministro continuo de energía en lugares remotos. Se espera que para 1990, los 14.300 MW que necesitará Arizona sean suministrados cubriendo de células solares una extensión de terreno de 500 km<sup>2</sup>. Para entonces la producción de células solares será masiva y a un precio de unas 15 pts./W (Actualmente cuesta unas cien veces más).

Las dos formas principales de generar energía térmico-solar son el horno solar, en el cual la luz reflejada desde muchos lugares diferentes se concentra sobre un único cambiador de calor, y la granja solar, con gran número de reflectores lineales que enfocan la radiación solar a lo largo de tubos, que de esta forma se calienta.

La figura 4 muestra un ejemplo de horno solar. Un gran número de espejos planos cubren una gran extensión de terreno y cada uno enfoca la luz del sol hacia una caldera montada en la parte alta de una torre que se eleva desde el centro del campo de espejos, para producir vapor a alta temperatura que moverá la turbina. La caldera puede ser de acero y trabajar a 1.000° C.

En Italia se ha construido una planta de 50 KW y en Francia una de 1 MW.

Se ha propuesto una planta de energía térmico-solar de un millón de MW que cubriría unos 33.500

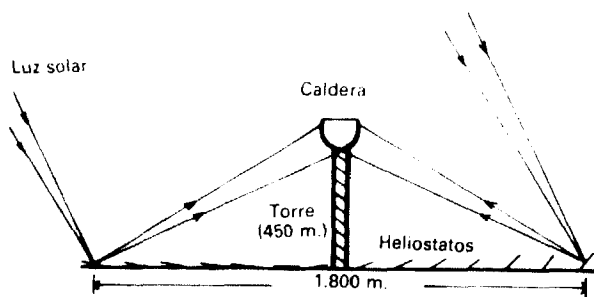


FIGURA 4.—Torre para la generación de energía térmico-solar.

Km<sup>2</sup> de desierto entre el golfo de California y Nevada. Produciría con el calor desperdiciado 190 millones de metros cúbicos de agua cada día, cantidad suficiente para cubrir las necesidades de 120 millones de personas. Usaría un metal líquido (Na ó NaK) para extraer el calor de la granja solar y almacenarlo en una mezcla eutéctica a temperaturas superiores a los 500° C. La electricidad sería producida por una turbina de vapor de alta presión, y el vapor de baja presión procedente de la turbina sería utilizado para destilar agua. El coste total del calor solar captado por esta planta se ha estimado en unas 0,20 pts. por 1.000 Kcal.

## LA CASA SOLAR

Investigadores de la Universidad de Florida han construido y probado calentadores solares de agua, de aire, destiladores, acondicionadores, un refrigerador, varios hornos solares, un digeridor solar de agua de alcantarilla, paneles de células solares, varios tipos de máquinas solares accionadas por aire caliente, bombas solares de agua, un coche eléctrico-solar y una casa solar. La casa solar fue ocupada por un graduado y su esposa y usa energía solar para calefacción, agua caliente, piscina climatizada, electricidad y reciclaje de desechos líquidos con un destilador solar. Un concentrador parabólico acciona una máquina de aire caliente de 1/3 de H.P. que mueve un generador de corriente continua para cargar el automóvil eléctrico-solar y tener así transporte no polucionante.

Esto prueba que es tecnológicamente posible cubrir las necesidades energéticas de una casa usando solamente la luz del sol.

Aunque actualmente estos sistemas son más caros que los convencionales, podrán competir con ellos en un futuro próximo, dado el encarecimiento progresivo de la energía «normal».

## HORNOS, SECADORES Y DESTILADORES SOLARES

En Francia se ha construido en 1950 un horno solar de 1 MW a unos 30 Km. de Andorra (fig. 5). El horno se completó en 1970 y su coste fue de unos ciento veinte millones de pesetas. Un horno similar de 70 KW se construyó en Japón. Empezó a funcionar en 1963 y produce temperaturas por encima de 3.400° C, punto de fusión del tungsteno. Incluso con luz solar débil se han fundido ladrillos refractarios. Se estudian en él las propiedades de los materiales a altas temperaturas. Un horno similar más pequeño funde materiales refractarios, en la Unión Soviética,

a temperaturas superiores a los  $3.500^{\circ}\text{C}$  y se usa para producir refractarios de alta pureza.

Los calentadores de aire solares tienen un gran porvenir en operaciones de secado en agricultura. Actualmente, en gran parte del mundo, el secado de frutos y vegetales se hace por exposición directa al sol y en condiciones primitivas. Al no haber protección contra la lluvia, el viento polvoriento y sucio, la infectación de insectos, roedores y otros animales, causan serios daños, a veces irreparables. En un mundo cada vez más hambriento es necesario encontrar formas prácticas y baratas de preservar los alimentos en condiciones sanitarias adecuadas.

En los secadores solares, el material se seca por circulación de aire caliente, que absorbe el vapor y acelera el secado. No hay exposición directa a los rayos solares, evitándose la caramelización y el daño por exceso de calor, al mismo tiempo que se consiguen colores más brillantes y mejor aspecto para los frutos y semillas que se someten a este tipo de secado.

Se han desarrollado varios tipos de secadores solares que suministran alrededor de los  $40^{\circ}\text{C}$ . Todos ellos son mucho más baratos que los calentadores solares de agua.

Para usos industriales, que requieren altas temperaturas (entre  $110^{\circ}\text{C}$  y  $140^{\circ}\text{C}$ ) se usan concentradores para calentar el aire, que se almacena de un modo barato en grandes depósitos de rocas porosas.

El uso de destiladores solares para obtener agua potable a partir de agua salada o polucionada es cada vez mayor en todo el mundo. Así, por ejemplo, en la Universidad de Florida se usa un destilador para regenerar agua potable a partir de desechos líquidos domésticos. Los destiladores solares son el medio más barato para desalinizar cantidades menores que  $200\text{ m}^3$  de agua salada por día, en zonas con una insolación razonable, y los costes de producción son de unas  $70\text{ pts./m}^3$ .

Un destilador solar es típicamente como una tienda de campaña con cubierta transparente, de plástico o vidrio, que lleva en su interior un recipiente poco profundo para el agua salada, con un fondo negro, para absorber mejor la radiación solar, que calienta el agua y la evapora, volviendo a condensarse en la parte interior de la cubierta de plástico o vidrio y corriendo hacia los bordes más bajos de la misma, donde es recogida.

En la Unión Soviética se usan grandes destiladores solares para usos industriales y agrícolas. En 1970 se construyó un destilador en la Granja Colectiva Shafrikan, en Bukhere Oblast, en la República Uzbek. El agua en esta zona no era potable, debido a su alto contenido en mineral y azufre. Con una superficie evaporadora de  $585\text{ m}^2$ , el destilador produce unos  $2\text{ m}^3$  por día, con una salida máxima de  $280\text{ l/h}$ . entre las 2 y las 4 de la tarde, y mínima de  $17\text{ l/h}$ . entre las 3 y las 7 de la mañana.

En muchos países se están realizando estudios para mejorar la eficiencia de los destiladores solares, que tienen un futuro muy prometedor, sobre todo en las zonas donde no llueve y el nivel freático no permite la explotación de aguas subterráneas.

## EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR

Muchas de las plantas que cubrieron la tierra durante millones de años, convirtiendo la energía solar en materia viva, quedaron enterradas en las entrañas

de la misma produciendo depósitos de carbón, petróleo y gas natural. En las últimas décadas el hombre ha encontrado diversos usos de estas complejas sustancias químicas, obteniendo de ellas plásticos, fibras textiles, fertilizantes y muchos otros productos de la industria petroquímica. Cada vez proliferan más

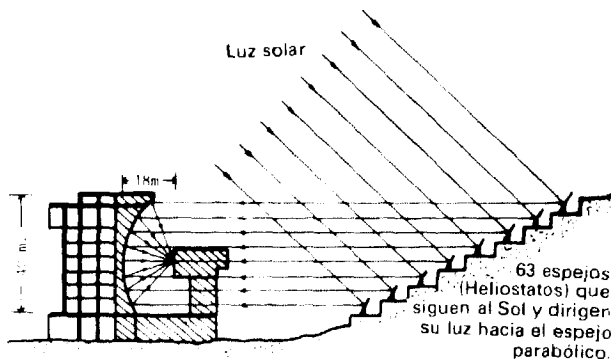


FIGURA 5.—Esquema de un horno solar de 1.000 KW.

y se encuentran nuevos usos para esos productos. El carbón, el gas y el petróleo no son fuentes renovables y ciertamente tendrán un gran valor para las generaciones venideras, como lo tienen para nosotros.

Además de esos usos que contribuyen a lograr el nivel de vida de que hoy disfrutamos, el hombre agota esas fuentes de energía quemando los combustibles fósiles para hacer funcionar sus máquinas y obtener calor. Este consumo es tan increíble que en unas décadas desaparecerán las reservas mundiales de gas natural, más tarde el petróleo y en cien o doscientos años el carbón. Indudablemente, las generaciones venideras nos criticarán por haber consumido sin tasa una energía que a ellos les será preciosa y que no podrán jamás reponer.

El sol es una fuente inagotable de energía no contaminante. El desarrollo de la tecnología en todo el mundo, que hace competitiva esta fuente de energía frente a las convencionales, hará de nuestra era la «Era Solar». Debemos conservar nuestras fuentes de energía fósil y no renovable para las generaciones futuras, y vivir en un mundo de abundante energía solar y sin polución. ¡Ojalá lo consigamos!

## REFERENCIAS

- WILLIAMS, J. RICHARD: «Solar Energy, Technology and Applications». Ann. Arbor Science Publishers, Inc. 1975.
- THOMASON, H. E.: «Solar Houses and Solar House Models». Edmund Scientific Company, Barrington, N. J. 1972.
- FARBER, E. A.: «Solar Energy, Its Conversion and Utilization». «Solar Energy», Vol. 14, 1973.
- Solar Energy. The Journal of Solar Energy Science and Technology. Vol. 22, n.º 1 and 2, 1979. P. O. Box 52. Parkville, Victoria, Australia 3052.

# Conceptos básicos sobre Topologías Moleculares

Por M.<sup>a</sup> del Carmen ARANDA PALACIOS (\*)

## INTRODUCCION

La distribución espacial de los átomos en una molécula está restringida, generalmente, a unos pocos modelos geométricos muy simples. El intento de los libros de Química General es desarrollar una serie ordenada de modelos eficaces de las estructuras moleculares electrónicas que son comúnmente utilizadas. *El punto de partida* en el desarrollo de una jerarquía de modelos para las estructuras moleculares es la sencilla teoría de Lewis (1) del enlace covalente.

Es preciso destacar la importancia de la teoría de Lewis respecto a las demás teorías actuales del enlace, como teoría de distribución de pares de electrones, ya que a partir de esta distribución se puede explicar la geometría de gran número de moléculas covalentes.

El confusiónismo que existe para la determinación de las estructuras de Lewis —piense el profesor que se realizan en la mayor parte de los casos de forma intuitiva— ha llevado a la búsqueda de una serie de reglas lógicas, sencillas y útiles para determinar estas estructuras. Esta determinación nos ofrece la posibilidad de cómo se pueden repartir los electrones de una molécula en pares —bien pares de enlace que han de ser compartidos entre átomo adyacentes, o pares solitarios o no enlazantes localizados sobre un átomo.

Recordemos también que el modelo de repulsión entre pares (2) —muy eficaz en la construcción de estructuras moleculares— está construido sobre la base de que (i) cada par de electrones de un átomo es estereoquímicamente significativo y (ii) que las repulsiones entre estos pares determinan la forma molecular. Vemos, pues, que para su aplicación es preciso conocer la distribución de estos pares de electrones, lo cual puede realizarse por medio de las estructuras de Lewis.

La utilización de estas estructuras permite al profesor la introducción en la geometría molecular sin formulación matemática y sin mencionar incluso la mecánica cuántica, hablando solamente del apareamiento perfecto de electrones de Lewis, nos parece que esto tiene gran importancia en los  *cursos de iniciación en el aprendizaje de la Química*.

## I. REGLAS PARA LA DETERMINACION DE LOS ENLACES

Vamos a enumerar una serie de reglas que permiten determinar la distribución de los pares de electrones en un gran número de moléculas covalentes. Señalemos que no son infalibles, pero sí una gran ayuda para la determinación de estas estructuras.

*Primera regla.*—Nos permite determinar el número

total de pares compartidos de una molécula o número total de enlaces (n.t.e.).

$n.t.e. = 1/2 (8 \cdot \text{número átomos } \neq \text{ de H de la molécula} + 2 \cdot \text{número átomos de H} - \text{número total de electrones de valencia de la molécula}) (*)$

*Segunda regla.*—Nos permite determinar la existencia de enlaces múltiples en la molécula, dobles y triples. Los enlaces múltiples surgen para subsanar la deficiencia electrónica, un enlace doble subsana la deficiencia de dos electrones y uno triple la de cuatro electrones. Calculamos en primer lugar el número de electrones que serían necesarios para que todos los enlaces de la molécula fuesen simples (n.e.n.). De la diferencia de este número y el número de electrones de valencia (n.e.v.) obtenemos la deficiencia electrónica, si existe, y de ella el número de enlaces múltiples de la molécula.

$$\text{Deficiencia electrónica} = n.e.n. - n.e.v.$$

Si esta diferencia es igual a cero todos los enlaces serán sencillos, si es igual a dos existe un enlace doble, el resto serán sencillos, si es igual a cuatro la deficiencia podría ser subsanada por dos enlaces dobles o por uno triple, si es igual a seis la deficiencia podría ser suplida por tres enlaces dobles o por un enlace doble y uno triple. Si esta diferencia aumentase el problema se resuelve de forma análoga teniendo en cuenta que un enlace doble suple una deficiencia de dos electrones y uno triple una de cuatro (\*\*).

El n.e.n. se calcula por la siguiente expresión:

$$\text{El n.e.n.} = 8 \cdot \text{número átomos } \neq \text{ de H de la molécula} + \text{número átomos de H} - (n-1) \cdot 2$$

Siendo n el número total de átomos de la molécula.

*Tercera regla.*—Nos permite determinar en un gran número de casos el esqueleto de la molécula.

3a) Moléculas de la forma  $B_xA$  ( $Cl_2O$ ): A normalmente es el átomo central.

3b) Moléculas de la forma  $AB_x$  ( $SO_4$ ): A suele ser el átomo central, nunca lo será si A es el hidrógeno.

3c) Moléculas de la forma  $ABD_x$  ( $COCl_2$ ): El átomo

(\*) Catedrática de Física y Química del I. B. de Vivero (Lugo).

(\*) Si n.t.e. resulta un número no entero nos encontraremos con un radical libre.

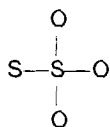
(\*\*) Si la deficiencia electrónica resulta un número impar nos encontramos con un radical libre.

mo central puede ser A o B y de estos dos será el de mayor covalencia (3). Si A y B poseen la misma covalencia el átomo central es el de electronegatividad más baja. Podemos decir que los átomos de electronegatividad más baja tienden a ser centrales y no terminales.

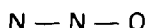
3d) Moléculas de la forma  $A_xB_y$  ( $N_2O_3$ ): En la mayor parte de los casos les corresponde un esqueleto simétrico. En este ejemplo:



esto no se cumple siempre por ejemplo en el  $S_2O_3$ , cuyo esqueleto es:



3e) Moléculas de la forma  $A_xB$  donde A posee mayor covalencia que B ( $N_2O$ ) suelen ser estructuras excepcionales y B no suele ser el átomo central, en el ejemplo:



**Cuarta regla.**—Una vez calculado el número de pares de enlace y determinado el esqueleto de la molécula, esta regla es una simple aplicación de la «regla del gas inerte» o «regla del octeto».

Se distribuyen los enlaces —pares compartidos— y los solitarios de manera que todos los átomos, excepto el hidrógeno, cumplan la regla del octeto.

**Quinta regla.**—Si el número de electrones necesarios es menor que el número de electrones de valencia la molécula no cumple la regla del octeto y el exceso de pares debe disponerse en el átomo central. Por ejemplo  $ICl_3$ :

$$\begin{array}{l} \text{n.e.n.} = 26 \\ \text{n.e.v.} = 28 \end{array}$$

existe un exceso de un par que se dispondrá en el átomo central.

**Sexta regla.**—Permite la selección de la estructura o estructuras más correctas. Al aplicar las reglas anteriores a una molécula determinada pueden existir un número más o menos grande de estructuras posibles, por lo que nos interesa determinar la/s más correcta/s.

6a) Todos los esqueletos correspondientes a la misma fórmula deben tener la misma posición relativa de los núcleos. Por ejemplo:

$S_2O_3$ :



no cumplirían este requisito, serían isómeros.

6b) Todas las estructuras deben tener el mismo número de electrones desapareados. Ejemplo NO:



6c) Con carácter general nos debemos ajustar a la regla del octeto, pero recordando siempre que los

elementos del tercer período o de períodos posteriores pueden tener octetos ampliados (4).

6d) Generalmente es preferible que sobre los distintos átomos aparezcan cargas formales cero. En este punto conviene introducir el enlace covalente coordinado, dativo o semipolar, cuya expresión se traduce en la aparición de las *cargas formales*. Estas cargas formales no significan que estén del todo presentes, sino que las exigencias del enlace conducen a una distribución no uniforme de la carga. Siempre que aparezcan cargas formales los átomos no se encuentran en su covalencia normal (5). Las indicaremos encerradas en paréntesis en la parte superior de los átomos: (+) o (-). La carga formal de un átomo en una estructura puede determinarse de acuerdo con la siguiente regla.

c.f. = n.e.v. (del átomo considerado) - n.e. sin compartir por dicho átomo en la estructura -  $1/2$  n.e. compartidos por dicho átomo (6)

La suma de las cargas formales de los átomos de una molécula debe ser igual a la carga general de la molécula.

6e) Son preferibles las estructuras que localizan cargas formales negativas sobre los átomos más electronegativos. Es conveniente evitar una gran separación de cargas formales opuestas y una gran proximidad entre cargas formales del mismo signo (7)

6f) Si dos o más estructuras cumplen todos los requisitos anteriores son estructuras igualmente importantes y en este momento se puede introducir el concepto de resonancia (8).

Insistimos de nuevo en la limitación de estas reglas, destacaremos su no utilidad en las moléculas en las cuales el átomo central presenta más de cuatro pares de enlace ( $PCl_5$ ,  $SF_6$ ...), en las moléculas con menos de cuatro pares de electrones o moléculas con deficiencia electrónica ( $BCl_3$ ,  $BeCl_2$  ...) en las cuales el átomo central posee menos de cuatro electrones de valencia, así como en las estructuras cíclicas —de uso totalmente limitado para el alumno de B. U. P. y C. O. U.— Remitimos al lector interesado en el tema a los trabajos de Lever (9).

## II. ALGUNAS APLICACIONES DE LAS REGLAS ANTERIORMENTE EXPUESTAS

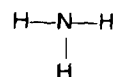
### 1. Consideremos la molécula de $H_3N$ . Por aplicación de las reglas 1.ª y 2.ª:

$$\begin{array}{l} \text{n.e.v.} = 8 \\ \text{n.t.e.} = 1/2 (8 \cdot 1 + 2 \cdot 3 - 8) = 3 \\ \text{n.e.n.} = 8 \cdot 1 + 2 \cdot 3 - (4 - 1) 2 = 8 \\ \text{n.e.n.} - \text{n.e.v.} = 8 - 8 = 0 \end{array}$$

Como la deficiencia electrónica es cero no existen enlaces múltiples, es decir, todos son sencillos.

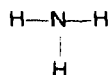
De acuerdo con 3a el átomo central es el nitrógeno.

El esqueleto de la molécula será:



Para que cumpla la regla del octeto ha de suministrarse un par no enlazante, solitario o sin compartir al nitrógeno.

La estructura definitiva será por tanto:



En este caso no es preciso calcular las cargas formales por estar todos los átomos en su covalencia normal. En el caso de calcularlas darán cero para todos los átomos.

## 2. Molécula de CO<sub>2</sub>.

$$\begin{aligned} \text{n.e.v.} &= 16 \\ \text{n.t.e.} &= 1/2 (8 \cdot 3 - 16) = 4 \\ \text{n.e.n.} &= 8 \cdot 3 - (3 - 1) 2 = 20 \\ \text{n.e.n.} - \text{n.e.v.} &= 20 - 16 = 4 \end{aligned}$$

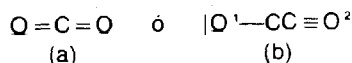
Esta deficiencia electrónica puede quedar compensada por dos enlaces dobles o por un enlace triple —de acuerdo con la regla 1.ª el otro será sencillo.

De acuerdo con 3b el átomo central será el carbono.

El esqueleto de la molécula será:



Y las estructuras posibles serán de la siguientes forma:



Para seleccionar la estructura más correcta calculamos las cargas formales:

Estructura a.—Los dos átomos de oxígeno tendrán la misma carga formal, que en este caso será cero —covalencia normal.

$$\begin{aligned} \text{c.f. del O} &= 6 - 4 - 2 = 0 \\ \text{c.f. del C} &= 4 - 4 = 0 \end{aligned}$$

La estructura a) no presenta cargas formales, todos los átomos se encuentran en su covalencia normal.

Estructura b.

$$\begin{aligned} \text{c.f. del O}^1 &= 6 - 6 - 1 = -1 \\ \text{c.f. del C} &= 4 - 4 = 0 \\ \text{c.f. del O}^2 &= 6 - 2 - 3 = +1 \end{aligned}$$

Vemos que esta estructura presenta cargas formales y que la suma de ellas coincide con la carga de la molécula.

De acuerdo con 6d se prefiere la estructura a) por tener ausencia de cargas formales.

## 3. Molécula de HN<sub>3</sub>.

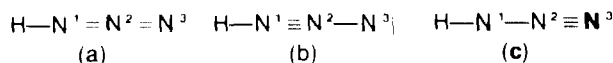
$$\begin{aligned} \text{n.e.v.} &= 16 \\ \text{n.t.e.} &= 1/2 (8 \cdot 3 + 2 \cdot 1 - 16) = 5 \\ \text{n.e.n.} &= 8 \cdot 3 + 2 \cdot 1 - (4 - 1) 2 = 20 \\ \text{n.e.n.} - \text{n.e.v.} &= 20 - 16 = 4 \end{aligned}$$

Esta deficiencia electrónica queda compensada por dos enlaces dobles o por un enlace triple, los otros serán sencillos.

Según 3b, dado que A es el hidrógeno, el esqueleto será de la forma:



y las estructuras posibles serán:



Para la selección de la estructura o estructuras más correctas calculamos las cargas formales.

Estructura a.—

$$\begin{aligned} \text{c.f. del H} &= 1 - 1 = 0 \\ \text{c.f. del N}^1 &= 5 - 2 - 3 = 0 \\ \text{c.f. del N}^2 &= 5 - 4 = +1 \\ \text{c.f. del N}^3 &= 5 - 4 - 2 = -1 \end{aligned}$$

Estructura b.—

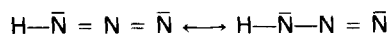
$$\begin{aligned} \text{c.f. del H} &= 1 - 1 = 0 \\ \text{c.f. del N}^1 &= 5 - 4 = +1 \\ \text{c.f. del N}^2 &= 5 - 4 = +1 \\ \text{c.f. del N}^3 &= 5 - 6 - 1 = -2 \end{aligned}$$

Estructura c.—

$$\begin{aligned} \text{c.f. del H} &= 1 - 1 = 0 \\ \text{c.f. del N}^1 &= 5 - 4 - 2 = -1 \\ \text{c.f. del N}^2 &= 5 - 4 = +1 \\ \text{c.f. del N}^3 &= 5 - 2 - 3 = 0 \end{aligned}$$

El número de cargas formales de las estructuras a y c son iguales y menores que las de b. Aquí se puede introducir el concepto de resonancia con dos estructuras resonantes que contribuirán por igual y pudiendo desechar o no la estructura b al ser muchos menos contributiva (10).

Representaremos la molécula de HN<sub>3</sub> de acuerdo con la nomenclatura usual:



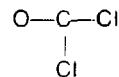
## 4. Molécula de CoCl<sub>3</sub>.

$$\begin{aligned} \text{n.e.v.} &= 24 \\ \text{n.t.e.} &= 1/2 (8 \cdot 4 - 24) = 4 \\ \text{n.e.n.} &= 8 \cdot 4 - (4 - 1) 2 = 26 \\ \text{n.e.n.} - \text{n.e.v.} &= 26 - 24 = 2 \end{aligned}$$

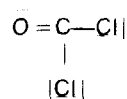
De acuerdo con el planteamiento anterior aparecerá un enlace doble y dos simples.

El carbono es el átomo central por poseer mayor covalencia normal que el oxígeno, según 3c.

El esqueleto de la molécula es:



Y la única estructura con ausencia de cargas formales:

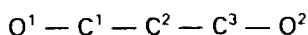


## 5. Molécula de C<sub>3</sub>O<sub>2</sub>.

$$\begin{aligned} \text{n.e.v.} &= 24 \\ \text{n.t.e.} &= 1/2 (8 \cdot 5 - 24) = 8 \\ \text{n.e.n.} &= 8 \cdot 5 - (5 - 1) 2 = 32 \\ \text{n.e.n.} - \text{n.e.v.} &= 32 - 24 = 8 \end{aligned}$$

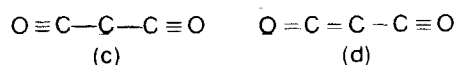
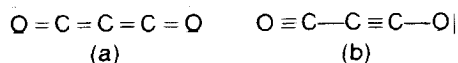
Esta deficiencia electrónica vendrá compensada por cuatro enlaces dobles o por un enlace triple y dos dobles o por dos enlaces triples; los restantes serán sencillos.

En este caso al ser una molécula de la forma  $A_xB_y$  buscamos el esqueleto más simétrico:



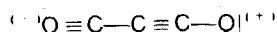
¿por qué no escribimos el esqueleto  $C - O - C - O - C$  también simétrico?

Las estructuras posibles son:

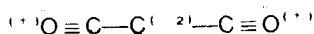


La estructura a) presenta ausencia de cargas como se puede calcular.

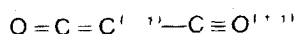
La estructura b) presenta cargas formales en los átomos de oxígeno:



La estructura c) es la que presenta mayor número de cargas formales:



La estructura d) presenta la siguiente disposición:



La estructura a) es la que en primera selección podemos tomar como más representativa al ser la más contributiva.

Hemos tratado de dar una guía para la distribución de los pares de electrones en términos de la teoría de Lewis. Esto nos servirá como base para profundizar posteriormente en el modelo de las repulsiones, ya mencionado, y en el método del enlace de valencia —recordemos que este método no es más que la actualización cuántica de la teoría de Lewis—.

El método, como también ya hemos dicho, presenta limitaciones, pero es sencillo y de poca dificultad para el alumno. Se han estudiado un número pequeño de moléculas, pero consideramos que como guía son bastante representativas.

#### BIBLIOGRAFIA

1. C. N. LEWIS: *J. Amer. Chem. Soc.*, 38, 762 (1916).
2. R. J. GILLESPIE: «Molecular Geometry», Van Nostrand Reinhold Co., London (1972); *J. Chem. Educ.*, 51, 367 (1974); *ibid*, 47, 18 (1970).
- 3 y 5. A. DOADRIO LOPEZ: «Química Inorgánica». Edic. L. A. F. F. (1975).
- 4 y 7. PURCELL Y KOTZ: «Química Inorgánica». Ed. Reverté, S. A. (1979).
6. DICKERSON-GRAY-HAIGHT: «Principios de Química», Ed. Reverté, S. A. (1978).
8. BRESCIA, MEHLMAN y otros: «Química». Ed. Interamericana (1977).
9. A. B. P. LEVER: *J. Chem. Educ.*, 49, 819 (1972).
10. BRESCIA, ARENTS y otros: «Fundamentals of Chemistry», Academic Press, Inc., New York. 2.ª edición (1971).
11. CARTMELL y FOWLES: «Valencia y estructura molecular», Ed. Reverté.
12. F. BERMEJO y M. PAZ: «Problemas de Química General y sus Fundamentos Teóricos». Ed. Dossat, S. A. (1979).
13. J. J. LAGOWSKI: «Química Inorgánica Moderna», Ed. Reverté (1975-76).
14. JACK BARRETT: «Estructura Atómica y Molecular», Editorial A. C. (1978).

# Reflexiones sobre textos científicos

---

Por Jesús AMADO MOYA (\*)

---

En algunas ocasiones he dedicado la clase al análisis de textos científicos, sin citar el autor ni la época en que escribe. Esto suele ser el origen de controversias de gran interés desde el punto de vista didáctico.

Quisiera recoger en este artículo algunos de los textos utilizados, junto con las preguntas que pueden servir de pauta para el diálogo posterior. He entresacado estos textos de la obra «Teatro crítico universal», del P. Feijoo.

Benito Jerónimo Feijoo nace en Casdemiro (Orense), en octubre de 1676. Ingresó en 1690 en la orden benedictina, y en 1709 es enviado como maestro de novicios al Colegio San Vicente de Oviedo, donde transcurre su vida entregado de forma especial al desarrollo cultural de su siglo. Gregorio Marañón afirmó en su discurso de recepción en la Real Academia Española: «Me atrevo a decir que Feijoo es el creador, en castellano, del lenguaje científico.»

Su obra cumbre «Teatro crítico universal» sale a la luz en 1726, contándose ya en 1787 con 20 ediciones de la misma. Durante dicho siglo XVIII se tradujo a cinco idiomas. Consta la obra de 118 discursos o capítulos sobre los temas más variados: artes, astronomía, geografía, derecho, economía, filosofía, física, matemáticas, literatura, medicina, historia, etc..., quedando de manifiesto su carácter enciclopédico, tratando de desterrar errores o supersticiones.

Lógicamente los textos que he seleccionado son los que, en mi opinión, pueden dar origen a una controversia clarificadora, bien sea por la tesis que trata de demostrar o por las pruebas que aduce como demostración de sus afirmaciones. Creo innecesario indicar que las inexactitudes científicas (que expongo ya sin más preámbulos) no desmerecen en absoluto el valor del P. Feijoo como acertado investigador de la realidad objetiva y científica.

## Texto 1.º

**Afirmación:** «Es probable que una bola de oro no llegaría al centro de la Tierra, aunque se arrojase por una abertura de bastante capacidad continuada hasta dicho centro.»

**Razonamiento:** «Para probar esta paradoja, supongo lo primero que el aire inferior tanto es más denso o pesado cuanto es mayor el peso del aire superior que le comprime.»

Supongo lo segundo, que la altura de la atmósfera (según cómputo reciente) es de 20 leguas francesas (1 legua francesa = 5.555 m.).

Supongo lo tercero, que el aire inferior contiguo a la tierra es por lo menos trece mil veces más denso y pesado que el que ocupa la mayor altura de la at-

mósfera, inmediato a la sustancia etérea. Esta suposición la baso en las experiencias de Boyle con la máquina neumática, que consiguió enrarecer el aire hasta ocupar trece mil tantos del espacio que ocupa ordinariamente.

Supongo lo cuarto, que el peso del aire vecino a la Tierra, comparado con el peso del oro, sea como uno comparado con 14.600.

Hechas estas suposiciones, digo que la bola de oro arrojada por el boquerón profundado hasta el centro de la Tierra quedaría suspensa en el aire antes de llegar a la profundidad de treinta leguas contadas desde la superficie de la tierra. La razón es, porque antes de llegar a esta distancia ya el aire por donde debía bajar la bola sería más pesado que el oro, y como ningún cuerpo puede bajar o sumergirse en algún líquido, sino en suposición de que éste sea más leve o menos grave que él, se sigue que necesariamente la bola de oro quedaría suspensa en el aire antes de bajar la distancia dicha.

Que el aire contenido en el boquerón, antes de llegar a la profundidad de 30 leguas, sería tan pesado como el oro, se prueba porque el aire (por la 1.ª suposición) tanto es más pesado cuanto es más profundo o cuanto mayor porción de aire tiene sobre sí. Este aumento de peso en la profundidad del boquerón se ha de regular según la proporción en que se aumenta el peso del aire desde la altura de la atmósfera hasta la superficie de la Tierra, haciendo la cuenta de este modo: en la distancia de 20 leguas (que es el grueso o alto de la atmósfera, por la segunda suposición) se hizo el aire 13.000 veces más pesado en la superficie de la tierra (por la 3.ª suposición) de lo que era en la altura mayor de la atmósfera: luego en la distancia de otras veinte leguas, contadas desde la superficie de la Tierra hacia abajo, será el aire 13.000 veces más pesado que en la superficie de la tierra. Luego allí ya será el aire más pesado que el azogue (mercurio). Bajando dos leguas más, ya será el aire tan pesado como el oro, como es fácil hacer el cómputo, luego a la distancia de 22 leguas, contadas en el boquerón desde la superficie de la Tierra, ya quedaría suspensa en el aire la bola de oro.»

(Discurso IX - Paradoja 13.ª)

**Cuestiones:** ¿qué opinas de cada una de las suposiciones? ¿Qué tipo de variación matemática supone el autor en la densidad atmosférica? ¿Es acertada la extrapolación de dicha variación de densidad a las regiones por debajo de la superficie terrestre? ¿De

---

(\*) Catedrático de Física y Química I. B. «P. Moret», de Pamplona.



qué modo influye la variación de la aceleración de la gravedad en la densidad de la atmósfera? ¿Podrías representar gráficamente la variación probable de la densidad de la atmósfera desde su límite exterior hasta el centro de la Tierra?

### Texto 2.º

*Afirmación:* «Es dudoso si los graves, apartados a una gran distancia de la Tierra, volverían a caer en ella.»

*Razonamiento:* «La razón es clara, porque la virtud atractiva, como finita, tiene determinada esfera de actividad y, por consiguiente, no puede hacer su operación a cualquier distancia: luego hay distancia a la cual no alcanzase la virtud atractiva del globo terráqueo: luego en suposición de que los graves bajen por atracción, puesto el grave en aquella distancia, no bajaría.

Habiendo tomado cuerpo entre los físicos la cuestión de si una bala de artillería, disparada verticalmente, volvería al suelo, en que algunos decían que se alejaría más y más de la Tierra, dejándose arrebatada por la materia etérea a otro vórtice (astro o planeta); otros, que se resolvería en polvo, faltándole en el aire superior muy enrarecido aquella fuerza con que el aire inferior mucho más denso y elástico, comprimiendo unas hacia otras partes, las mantiene unidas, el señor Moutier, oficial de artillería de Estrasburgo, trató de averiguar la verdad con la experiencia, para cuyo efecto colocó una pieza de artillería verticalmente, tan bien asegurada que ni el fuego ni el movimiento de la bala al salir pudiesen inclinarla a alguno de los lados. Colocada así, disparó la bala, la cual no dejó de volver al suelo a su tiempo, aunque a gran distancia de la pieza, lo que causó mucha admiración, porque examinando el cañón después del disparo, se halló que no se había desviado ni una línea de su perpendicularidad. La distancia en que cayó la bala fue de 300 pértigas (1 pértiga = 2,70 m.).

Lo dicho no obsta a la verdad de nuestra paradoja, porque ésta procede en la suposición de que los graves se colocasen en una gran distancia de la Tierra. La distancia a que puede apartarse de ella la bala de artillería es poquísima, comparada con la magnitud del globo terráqueo.»

(Discurso XIV - Paradoja 9.º)

*Cuestiones:* ¿Posee algún límite la ley de gravitación universal? ¿Qué opinas sobre las suposiciones de la bala lanzada a gran altura? ¿Con qué velocidad debería lanzarse la bala para que no volviese a la Tierra? ¿Por qué crees que se desvió de la vertical la bala de la experiencia citada? ¿Crees que un satélite geostacionario confirma la hipótesis del autor?

### Texto 3.º

*Afirmación:* «El fuego elemental y la luz (o fuego celeste) son pesados.»

*Razonamiento:* «Esta conclusión se prueba eficazmente con los experimentos de Mr. Duclos y Mr. Homberg, de la Academia de las Ciencias. El primero, habiendo calcinado mineral de antimonio, en can-

tidade de cuatro onzas, con el espejo ustorio (espejo cóncavo) le halló aumentado de dos dracmas hecha la operación. El segundo halló mucho mayor aumento en el mineral de hierro expuesto al vidrio ardiente (lupa convergente). Uno y otro aseguraron haber ejecutado las operaciones de modo que ninguna otra materia más que la luz podía haberse introducido en los minerales expresados. Véanse las Memorias de la Academia Real de las Ciencias del año 1705.

Más aún, el famoso Boyle comprobó que los metales incluidos en vasos sellados herméticamente y reducidos a fusión o calcinación por el fuego, aumentan sensiblemente su peso, lo cual no puede venir sino de las partículas sutilísimas del fuego que, penetrando los poros del vaso, se incorporan con el metal derretido o calcinado.

Más aún, pesando el vaso vacío después de la operación, nunca halló la más leve disminución de su peso, la que, si se encontrase, daría lugar a la conjetura de que algunos fragmentos o partículas desgajadas de su superficie interna habían aumentado el peso de los metales.

Advierto aquí, por excusar más objeciones, que no todos los metales o materiales son igualmente susceptibles del aumento de peso por la llama. El metal que adquirió mayor porción de peso fue el hierro, y el que menos, la plata. Aquél se aumentó más de una quinta parte; ésta apenas adquirió una centésima vigésima parte de peso. Y aun Boyle sospechó que este leve aumento se hiciese en alguna pequeña porción de cobre, que frecuentemente está incorporada con la plata vulgar.

En otra parte asegura que después de tener dos meses en continua fusión al fuego una porción de oro, le halló sin disminución ni aumento de peso.»

(Discurso XII - Conclusión 1.º)

*Cuestiones:* ¿Hasta qué momento perduró la teoría del flogisto? ¿Qué reacciones se verificaron en las experiencias de Duclos y Homberg? ¿Qué precaución debía haber tomado Boyle en sus experimentos para que sus conclusiones fueran acertadas? ¿Es acertada la observación del aumento de peso del hierro? El aumento del peso en la plata, ¿se debe a ésta o al cobre? ¿Por qué no se observó aumento de peso en el oro?

### Texto 4.º

*Afirmación:* «La luz no sólo se propaga por línea recta, mas también por líneas curvas.»

*Razonamiento:* «El P. Grimaldi, célebre jesuita, fue el primero que observó que los rayos del sol, al encuentro de cuerpos opacos, se doblan un poco; de modo que los que tocan sus lados opuestos ya no prosiguen paralelos, sino algo divergentes, y así la sombra del cuerpo opaco interpuesto es de más anchura que el mismo cuerpo. El caballero Newton confirmó e ilustró en gran manera las observaciones del P. Grimaldi. A esta mudanza de determinación del curso de la luz dieron el nombre de inflexión.

La inflexión de la luz, mayor en los rayos rojos y menor en los violados, se puede probar bien con el fenómeno regular de la semisombra misma que ciñe las extremidades de la sombra total de los cuerpos opacos dejados libremente a toda la plenitud de la

luz. Nótese que la semisombra tiene más latitud cuanto es mayor su distancia al cuerpo opaco interpuesto.»

(Discurso XII - Conclusión 2.ª)

**Cuestiones:** ¿Con qué nombre conocemos actualmente el fenómeno de inflexión? ¿Es cierta la observación de la máxima inflexión en el color rojo y mínima en el violado? ¿Podemos relacionar el fenómeno de la inflexión con la naturaleza de la luz? ¿Es cierto que la anchura de la semisombra es proporcional con su distancia al cuerpo interpuesto?

#### Texto 5.º

**Afirmación:** «La luz tiene fuerza impulsiva.»

**Razonamiento:** «Pruébese esta afirmación eficazmente con dos experimentos de Mr. Homborg. El primero fue que poniendo una materia muy ligera, como el amianto, en bastante cantidad, al foco del espejo ustorio (espejo cóncavo), los rayos del sol unidos en él la arrojaban del carbón donde estaba colocada.

El segundo, que habiendo fijado en un madero el muelle de una muestra por una de sus dos extremidades, y dejado la otra extremidad libre, enderezó contra ésta varias veces los rayos de sol recogidos en el foco de un vidrio ardiente (lupa), cuyo diámetro era de doce a trece pulgadas, y vio que siempre la extremidad libre del muelle se movía con vibraciones muy sensibles, como si la hubiesen impelido con un palo.

Estos dos experimentos juzgo que no dejan en la conclusión propuesta duda alguna.»

(Discurso XII - Conclusión 3.ª)

**Cuestiones:** ¿Estás de acuerdo con la afirmación hecha por el autor? ¿Qué opinas de las experiencias propuestas? ¿Podrías dar alguna explicación al fenómeno observado en la segunda experiencia?

#### Texto 6.º

**Afirmación:** «El aire es el agente más vigoroso que hay en toda la naturaleza.»

**Razonamiento:** «Aquel maravilloso impulso de la pólvora, que se lleva de calles cuanto encuentra, todo viene de un poco de aire depositado en los intersticios y poros de los granos, el cual, soltando prontamente sus muelles, por la repentina rarefacción en que le pone la inflamación de la pólvora, con inmenso ímpetu se dilata a ocupar aquel mayor espacio que le es debido; de aquí es el arrojar con tanta violencia la bala en los cañones y levantar peñascos en las minas.

Pruébese con un experimento de Mr. Hartsoecker, el cual habiendo llenado de pólvora un globo hueco de cobre, a quien evacuó enteramente de aire, dio fuego a la pólvora, la cual no hizo otra cosa que fundirse en un pedazo de masa, sin hacer esfuerzo alguno contra el globo, por lo cual éste quedó ileso. Es claro que si la pólvora tuviera aire, le hubiera hecho mil pedazos.

Aunque la fuerza impulsiva venga originariamente del fuego, la fuerza resistiva toda es del aire, porque aun sin intervención del fuego, explica el aire su elasticidad con terribilísima violencia.

Vese esto en el aire contenido en el agua que se hiela; el cual, si no tiene salida, rompe los más firmes vasos de cualquier materia que sean.

Que el aire contenido en el agua con su dilatación hace estos portentosos efectos, es claro, porque el agua, de quien se extrajo el aire en la máquina neumática, no se dilata, antes se encoge cuando se hiela: luego es manifiesto que en aquel volumen, compuesto de agua y aire, lo que se dilata únicamente es el aire, por consiguiente éste es el único agente que hace fuerza contra el cuerpo, donde está contenida el agua helada.»

(Discurso IX - Paradoja 14.ª)

**Cuestiones:** ¿Qué opinas acerca de la afirmación de que sea la súbita expansión del aire contenido en la pólvora quien origina sus efectos destructores? ¿Podrías dar alguna explicación a la experiencia de Mr. Hartsoecker? ¿A qué es debida la dilatación del agua congelada? ¿Crees cierto que el agua desprovista de aire se encoge al congelarse? ¿Se dilata el aire al enfriarse la masa de agua que le rodea?

# **FISICA Y QUIMICA**

## **B.U.P. Santillana**

**“Unos textos que resuelven problemas”**

**Los problemas del profesor de:**

- plantear cuestiones que despierten interés,
- exponer conceptos y teorías con lenguaje claro,
- proponer actividades experimentales asequibles y eficaces.

**Y, para el próximo curso, una novedad:**

## **Ejercicios de FISICA Y QUIMICA**

Un nuevo libro que amplía el repertorio de problemas y actividades del texto, estructurado en diecisiete temas.

**Cada tema consta de:**

- Exposición teórica breve.
- Modelos de problemas resueltos con distintos procedimientos.
- Ejercicios a realizar por el alumno.
- Apéndice con soluciones.

**Textos de Física y Química - B.U.P. Santillana**  
**Libros que resuelven problemas.**

---

**santillana** - Elfo, 32 - Teléfono 403 40 00 - MADRID-27