

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 Erecteión.
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.

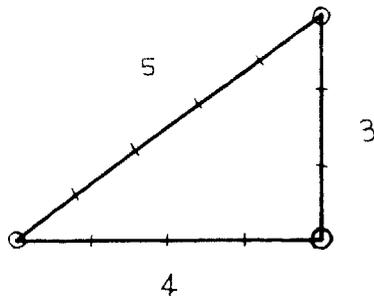
En lo sucesivo, además, esta alumna se ha ido encargando de citar las fechas clave en el desarrollo del tema.

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).

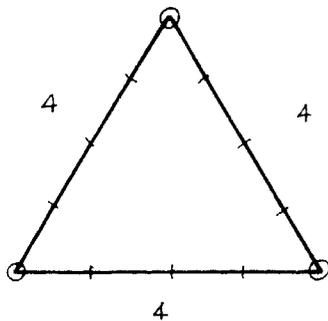
(*) Profesor Agregado de Física y Química en el Instituto de Bachillerato «Modesto Navarro», de La Solana (Ciudad Real).

Primer triángulo (un triángulo rectángulo):



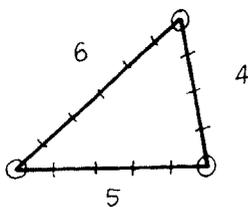
PRIMER TRIANGULO

(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:



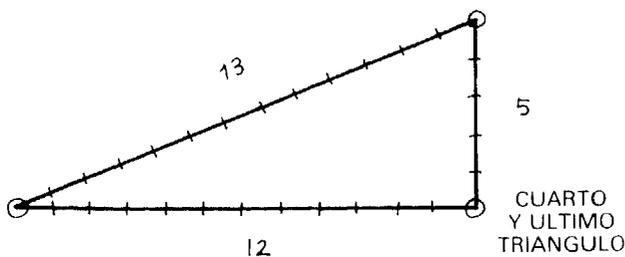
SEGUNDO TRIANGULO

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:



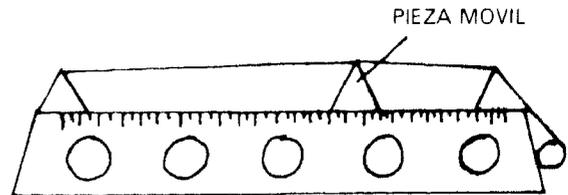
CUARTO Y ULTIMO TRIANGULO

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.

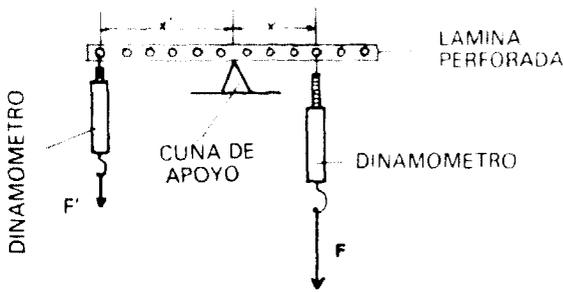
Naturalmente, (G) explica el significado de la palabra (FISIS), creación de Aristóteles. También va mostrando en un mapa de la Grecia Clásica las ciudades en las que nacieron o vivieron estos grandes sabios de la Humanidad: Samos, Mileto, Estágitra, Abdera, Siracusa, Alejandría...

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 encargar 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:

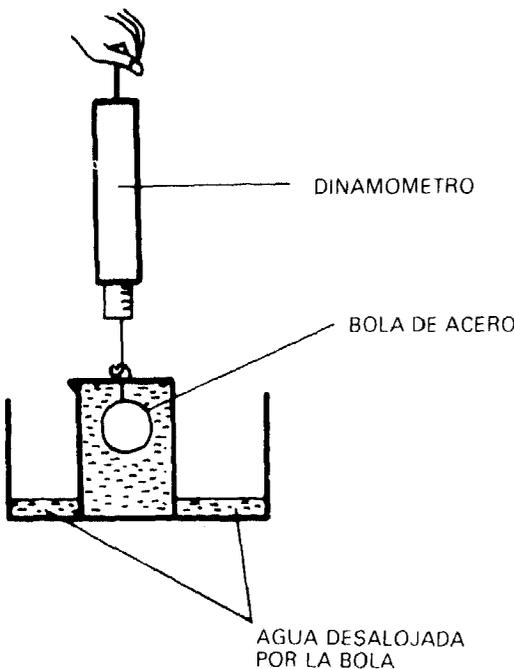


LA PALANCA DE ARQUIMEDES

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.

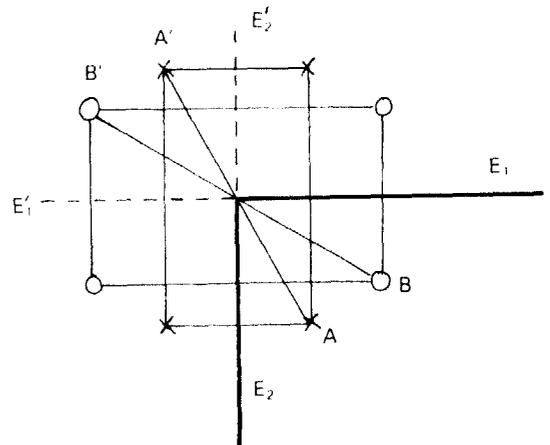
Arquímedes (muerto en 212 a. de C.) vivió en pleno escenario de las guerras púnicas, y (H) es el encargado de relatar el desarrollo histórico de las mismas. Asimismo da su opinión personal del problema de los científicos al servicio de la guerra. Se dice que Arquímedes al morir asesinado por un soldado 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.



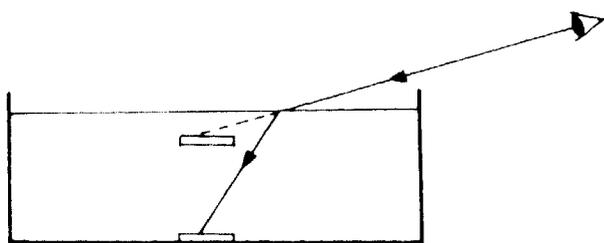
EXPERIMENTO DEL DOBLE ESPEJO DE HERON

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.)

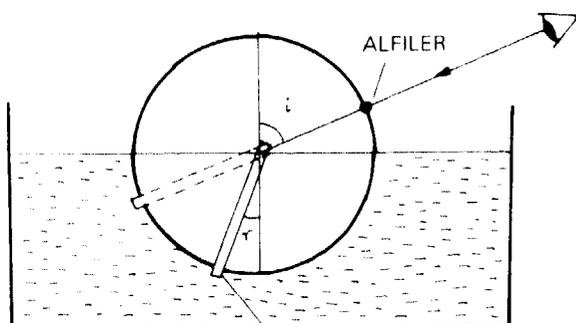
Finaliza el trabajo con un breve estudio de la figura de Ptolomeo, último miembro destacado de la escuela alejandrina. La exposición la realizan conjuntamente (E) y (M), iniciándose con un sencillo experimento sobre la refracción: una moneda que no puede verse cuando se halla en el interior de un recipiente 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:



REFRACTÓMETRO 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.