LA BÚSQUEDA DE LA UNIDAD

(La estructura de todas las cosas)

CIENCIAS DE LA NATURALEZA, 13-14

L I B R O D E L P R O F E S O R

J. Martínez Torregrosa, M. Alonso Sánchez, F. Carbonell Gisbert,
J. Carrascosa Alís, J. L. Domenech Blanco, A. Domenech Pastor,
L. Osuna García, F. Sendra Bañuls, R. Verdú Carbonell

1993

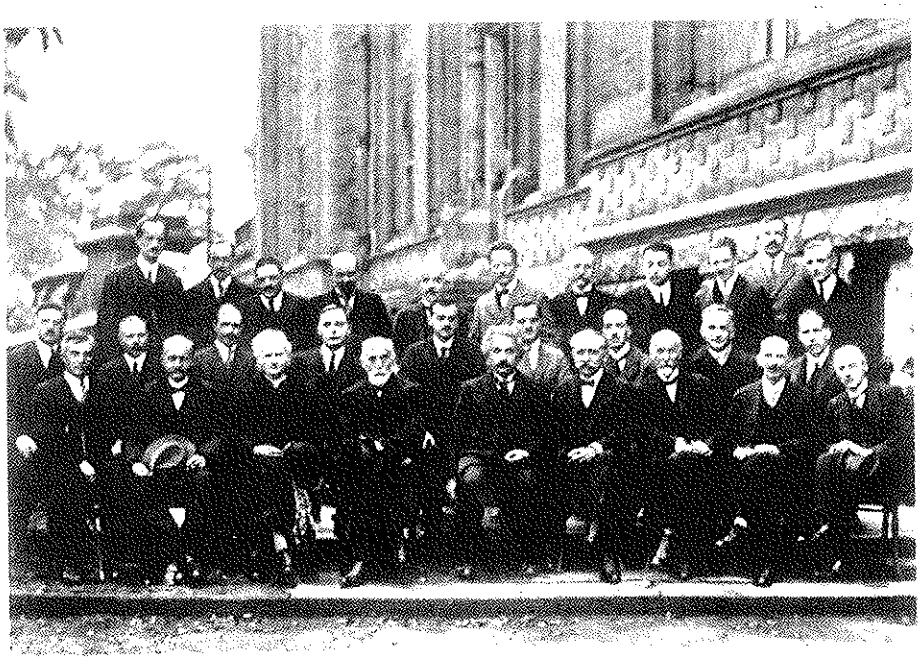
Editorial AGUACLARA

ISBN: 84-8018-040-4

Año 1993

2 APROXIMACIÓN AL TRABAJO CIENTÍFICO

Tal como hemos expresado en el capítulo anterior, la familiarización con la forma en que se producen conocimientos científicos es uno de los objetivos de este curso y de toda la etapa.



Congreso de científicos en 1927.

Podríamos comenzar preguntándonos si realmente el modo en que se producen conocimientos científicos es tan diferente del modo en que se producen los conocimientos cotidianos como para necesitar una reflexión específica. Se trata de una pregunta que sólo podremos contestar adecuadamente al final del curso, cuando recapitulemos sobre todo lo hecho y la forma en que lo hemos hecho.

Sin embargo conviene que nos detengamos a pensar en algunas

características del trabajo científico para ser conscientes de lo que supone iniciarse en esta forma de producir conocimientos que tanta influencia ha tenido en la evolución de la Humanidad.

A.1 Enumerar distintas actividades que forman parte de una investigación científica y que podrían caracterizar cómo trabajan los científicos.

COMENTARIOS A.1

Se trata de una actividad que pretende llevar a los alumnos a explicitar sus concepciones de partida, lo que es absolutamente necesario, tanto si se pretende ligar los nuevos conocimientos con los que ya se poseen como, sobre todo, si los nuevos conocimientos van a suponer una modificación drástica —una ruptura— de los anteriores. En otro caso, se corre el riesgo de una adquisición puramente anecdótica que no enlaza con lo que constituye la estructura cognoscitiva del alumno (Ausubel,1978; Driver,1986).

Resulta muy útil pedir a los pequeños grupos que preparen la enumeración propuesta para escribirla en la pizarra, dividiendo ésta en tantas columnas como pequeños grupos. Ello actúa, por una parte, como motivación suplementaria (el saber que necesariamente va a darse cuenta del trabajo realizado, provoca una mayor atención, un mayor interés). Por otra parte, la totalidad de las respuestas recogidas en la pizarra permitirá al profesor valerse de las distintas aportaciones, confrontarlas, utilizarlas como base para las siguientes actividades.

Las respuestas de los alumnos suelen incluir, en general, la observación, la experimentación, la formulación de hipótesis (algún grupo), el establecimiento de leyes y poco más. Esto es, en síntesis, lo que se dice en un primer capítulo de cualquier texto de Física y Química (u otra materia científica) al hablar del «Método Científico», presentado a menudo como un conjunto de reglas a aplicar correlativamente. Algún grupo, sin embargo, suele incluir en forma más o menos explícita aspectos tales como la recopilación de información (¿por qué al hablar del trabajo científico en los textos se pasa sistemáticamente por alto esta tarea que absorbe con frecuencia más del 50% del trabajo de los investigadores?), el papel del análisis y otros. Ello puede dar pie a profundizar en las características del trabajo científico, haciendo ver parte de su complejidad. A tal objeto, conviene plantear nuevas actividades que precisen la respuesta general dada en A.1 y hagan posible la superación de visiones equívocas y/o simplistas.

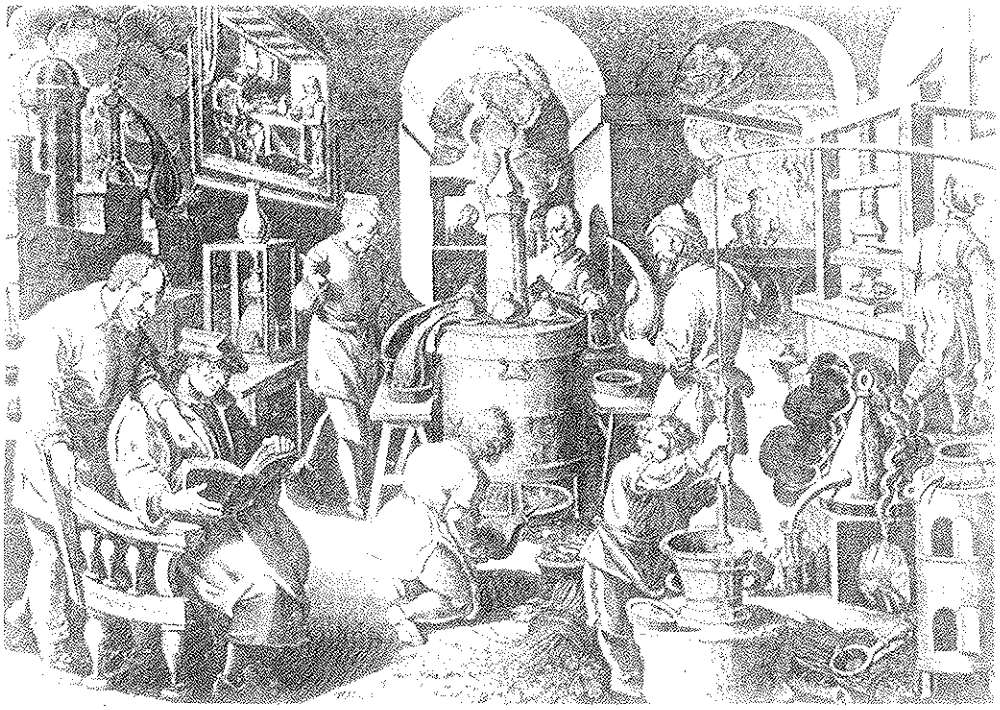
Después de esta exposición de vuestras ideas, conviene que profundicemos en algunos aspectos con más detalle, revisando en primer lugar aspectos generales y centrándonos posteriormente en el análisis de la medida y la interpretación gráfica de los datos, especialmente importantes en Física y Química. Para ello nos ajustaremos al siguiente ÍNDICE:

1. Algunas características generales del trabajo científico.
2. Análisis del proceso de medida.
   2.1 Práctica reiterada de la medida: utilización de diversos instrumentos.
3. La construcción e interpretación de gráficos como técnica de análisis de resultados.
4. Realización de una pequeña investigación: «Factores que determinan el periodo de un objeto pendular».
5. Actividades complementarias.

1. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TRABAJO CIENTÍFICO

COMENTARIO GENERAL DEL TEMA

El objetivo de este primer tema es que los alumnos adquieran confianza, destreza y familiarización con actividades que se van a poner en práctica a lo largo del curso (planteamiento cualitativo, formulación de hipótesis, elaboración de estrategias o diseños experimentales, análisis de resulatados...) antes de abordar problemas más globales o teóricos. Existe evidencia (Schauble et Al, 1991) de que el tratamiento al comienzo del curso de algún problema de tipo técnico, fácil de realizar y bien conocido por el profesor genera actitudes positivas en los alumnos hacia la asignatura y sirve perfectamente para nuestro objetivo. Un trabajo de estas características es el estudio de los «factores que determinan el periodo de un péndulo» que es el que hemos escogido para este tema; pero también pueden servir otros, como «factores que determinan el tiempo de caída de un cuerpo» o «estudio de los factores que influyen en el peso que puede soportar un hilo de cualquier material», o cualquier otro que conozcamos bien, sea de fácil realización y tenga sentido realizarlo de un modo aislado.



Laboratorio del siglo XVI.

Una posible opción para desarrollar este tema puede consistir en realizar la A.1 y comenzar el trabajo sobre el péndulo que se plantea en el apartado 4, u otros de los mencionados, avanzando según se van realizando las actividades siguientes. En el desarrollo de este trabajo habrá ocasión de discutir y precisar aspectos sobre el planteamiento del problema, la naturaleza de las hipótesis... el análisis de los resultados de un modo contextualizado. En definitiva, se trataría de realizar todas las actividades propuestas concretándolas en el trabajo sobre el péndulo.

Otra opción consiste en continuar hasta la A.23 y después poner en práctica todo lo hecho realizando el trabajo sobre el péndulo. La primera variante tiene el peligro de que el hilo conductor del trabajo práctico quede olvidado al llegar al apartado de medida y gráficas que requiere bastante tiempo. La segunda opción, más ordenada, exige la precaución de ir poniendo muchos ejemplos o situaciones para que los alumnos no se queden en definiciones académicas. En este caso puede cogerse el trabajo sobre «el tiempo de caída de un cuerpo» para concretar en qué consiste el planteamiento de un problema, las hipótesis y sus características, qué es un diseño experimental... y realizar el apartado de medida y gráficas, de modo que los alumnos tengan una primera visión global que puedan utilizar y perfilar realizando el trabajo sobre el péndulo.

Somos conscientes, además, del nivel del lenguaje utilizado en los enunciados de dichas actividades, y de que ello puede dar lugar a que los alumnos pidan explicaciones sobre los mismos. Ello es deliberado: uno de los objetivos del curso debe ser que los alumnos adquieran el lenguaje básico de las ciencias físico-químicas, y, de un modo general, que eleven su nivel de comprensión y expresión escrita. Aunque, en un primer momento no entiendan lo que pide la actividad, la intervención del profesor expresando lo mismo con otras palabras, produce, sin duda, un enriquecimiento del vocabulario.

En todo caso debemos prestar una especial atención para que este tema despierte el interés de los alumnos logrando que se impliquen activamente desde el comienzo del tema.

Por último, señalar que los apartados 2 y 3 (especialmente el de gráficas) pueden introducirse cuando así lo exijan los problemas abordados.

A.2 Expresar vuestras ideas sobre cómo suele iniciarse un trabajo científico.

COMENTARIOS A.2

La generalidad de los grupos responde a esta cuestión refiriéndose -como lo hacen la mayoría de los textos- a la observación, pero se producen también otras respuestas que rechazan la idea de que toda investigación se inicie con una observación más o menos fortuita. El profesor puede fomentar esta discusión preguntando por qué y para qué se observa y por qué y para qué se inicia una investigación.

Aunque no existe el «Método científico», si por tal se entiende un conjunto de reglas a aplicar mecánicamente y válido para cualquier dominio científico, podemos, sin embargo, y conviene hacerlo, referirnos a algunas características generales, válidas para cualquier tipo de investigación. En este sentido podemos decir que una investigación científica comienza siempre con el planteamiento de un problema, cuyo origen puede estar tanto en la observación de un hecho nuevo, imprevisto, o anómalo según ideas previas, como en una necesidad de tipo técnico, en una investigación previa que ha abierto nuevas perspectivas, etc. . Pero lo verdaderamente relevante es que ninguna investigación parte de cero, ya que, incluso las observaciones más elementales requieren conocimientos previos, ideas ya adquiridas que orientan dicha observación y que obligan, por tanto, a matizar la idea de comienzo, en el sentido de que toda investigación se inserta en el proceso general del desarrollo científico.

Así, la observación de que los murciélagos no tienen ojos resulta problemática desde la idea aceptada de que todos los mamíferos se orientan por el sentido de la vista. La propia

clasificación de las plantas según «raíz, tallo y hojas» es un intento de resolver el problema de cómo identificar y agrupar especies dentro de la inmensa variedad existente, y supone una selección (entre decenas o cientos de otras posibles) que debe ser tomada como una hipótesis de trabajo, etc.

Pero no basta con la identificación o enunciado de un problema para que podamos hablar ya de ciencia. Es necesario que el problema se formule de manera precisa, delimitando las condiciones concretas en que se aborda. Esta delimitación, por otra parte, se hace teniendo en cuenta la necesidad de descomponer un fenómeno complejo en partes más fácilmente abordables, procediendo así a lo que se denomina habitualmente análisis, que es un aspecto esencial del tratamiento científico.

Este enunciado preciso del problema exige la recopilación y estudio de la información disponible en torno al problema (también citada por algunos alumnos, y cuya importancia conviene resaltar). Como ya hemos señalado, no es probable que un trabajo de investigación parta de cero, y se hace necesaria la explicitación de los conocimientos de partida.

La búsqueda bibliográfica es una de las tareas más típicas del trabajo científico, haciendo patente la importancia del aspecto acumulativo de toda ciencia (sería del mayor interés que a lo largo de toda la etapa 12/16 se iniciara a los alumnos en las tareas bibliográficas: visita a hemerotecas, búsqueda de artículos sobre un problema dado, confección de fichas, etc ...). Este aspecto acumulativo hace precisamente de la ciencia un producto colectivo, cuyos logros se deben al trabajo de generaciones de hombres y mujeres. A título de ejemplo, las concepciones heliocéntricas de Copérnico que iban a revolucionar toda la Física, eran deudoras —como el propio Copérnico declara en De Revolutionibus— de ideas enunciadas 2000 años antes.

Para concretar estas ideas podemos proponerles, por ejemplo, que inicien un trabajo destinado a determinar los factores que influyen en el tiempo de caída de un objeto. En cuanto dejen caer una hoja de papel, una pluma y un bolígrafo los alumnos sentirán la necesidad de precisar y acotar el problema, de simplificar y analizar para poder avanzar, etc. .

La formulación de un problema suele ir acompañada explícita o implícitamente de algunas suposiciones o conjeturas explicativas del mismo, puesto que, como ya hemos señalado, los nuevos problemas no se abordan a partir de cero, sino desde conocimientos, ideas y vivencias previos. Dichas suposiciones, llamadas hipótesis, son algo más que las conjeturas que suelen realizarse en la vida cotidiana.

A.3 Aunque las hipótesis son suposiciones que pretenden solucionar el problema planteado, no toda suposición puede ser aceptada como hipótesis científica. ¿Qué características debe tener para que lo sea?

COMENTARIOS A.3

Las respuestas de los alumnos permiten dejar claro que por hipótesis debe entenderse una conjetura verosímil (es decir, sin contradicciones evidentes) que se pueda contrastar. Este requisito de verosimilitud pone el acento en el hecho de que las hipótesis se elaboran a partir de un determinado cuerpo de conocimientos generalmente aceptado y al que hay que referirse explícitamente para fundamentar la hipótesis. Desde este punto de vista, la verificación o falsación de las hipótesis concretas puede afectar a todo el cuerpo de conocimientos, retocándolo o incluso poniéndolo globalmente en cuestión. Es preciso salir al paso de la visión simplista que la enseñanza, en ocasiones, da al trabajo científico, al tratar cada problema, cada hipótesis, etc., de forma desligada.

Interesa también señalar —y esto no aparece, en general, en las respuestas de los alumnos— que formular una hipótesis contrastable implica la introducción de conceptos operativos, o sea, definidos de manera precisa, por medio de operaciones que permitan obtener su valor a partir de experiencias, tales como velocidad, masa, trabajo ..., que denominamos magnitudes. Por ejemplo, cuando dicen que el <u>periodo</u> del péndulo dependerá de la <u>masa</u>, <u>longitud</u> del hilo, <u>ángulo</u>, etc., están introduciendo magnitudes (subrayadas).

La contrastación directa, experimental, de una hipótesis no siempre es posible, y ello exige la deducción de consecuencias lógicas que sí puedan ser contrastadas. Tanto la introducción de conceptos operativos como esta derivación de consecuencias lógicas hacen ver la importancia de la matemáticas y de todo el aparato lógico de la ciencia. En cierto modo, otro de los aspectos específicos del trabajo científico va a ser la utilización del lenguaje riguroso de las matemáticas. Ello no disminuye el aspecto creativo del trabajo científico, bien patente en lo que se refiere a la emisión de hipótesis, cuya fecundidad ninguna «regla» va a poder garantizar (lo que no quiere decir que esta emisión de hipótesis esté regida por el puro azar: la sólida preparación científica, la práctica misma de la investigación, la familiarización con el campo donde se inserta el problema..., van a favorecerla).

Para concretar estas características podemos pedirles que formulen hipótesis sobre el problema del «tiempo de caída de un cuerpo con rozamiento despreciable» (que habrá sido precisado en la A.3), y que digan si cumplen dichos requisitos. También podemos proponerles una conjetura inverosímil y no contrastable: «la Luna aparece sobre el horizonte porque es empujada por unos seres invisibles que la dejan caer cuando se cansan».

A.4 Una vez formulada una hipótesis, ¿qué hacer para contrastarla?

COMENTARIOS A.4

Los alumnos suelen pasar rápidamente de la formulación de hipótesis a la experimentación, ignorando así la cuidadosa planificación previa (control de variables, diseño de instrumentos y/o montajes adecuados, solución de problemas técnicos ...,) que requiere la contrastación experimental. El profesor, mediante ejemplos, puede hacer ver la importancia de reflexionar antes de actuar. Debemos ponerles en situación de realizar (no necesariamente de una forma muy detallada si sólo se trata de un ejemplo) un diseño experimental para contrastar una hipótesis de varias variables, de modo que vean la necesidad de dejar fijas todas menos una para comprobar la influencia de ésa una en la magnitud estudiada. Podemos proponerles, por ejemplo, que contrasten la influencia de la masa (o el peso) y de la altura en el tiempo de caída.

La realización práctica del diseño experimental ideado para contrastar las hipótesis se llama experimentación. Cuando se experimenta, se observa, pero de un modo muy distinto a la observación cotidiana.

A.5 Tratar de señalar semejanzas y diferencias entre una observación cotidiana y un experimento científico.

COMENTARIOS A.5

El carácter de observación cuantitativa, el control riguroso de las condiciones del experimento y su reproductibilidad son los aspectos más significativos que caracterizan, en la opinión de los alumnos, al experimento científico. Y poco puede añadirse ya. En efecto, un experimento científico no es más que un acto de observación, pero en condiciones preestablecidas y cuidadosamente controladas, que pueden ser reproducidas, sin lo cual sus resultados no podrían ser aceptados por otros investigadores.

En general, se trata, además, de una observación cuantitativa (medidas) traducible a resultados numéricos (datos) que hay que contrastar con los predichos por la hipótesis. Este doble aspecto —condiciones controladas y carácter cuantitativo de la observación— es el que diferencia fundamentalmente al experimento de la observación ordinaria. El control de las condiciones se hace teniendo en cuenta la necesidad de descomponer los fenóme-

nos complejos en partes más fácilmente abordables (análisis) a cuya importancia ya hicimos referencia al hablar del planteamiento del problema. Ello hace que el experimento se realice con frecuencia en condiciones especiales que no se dan en la naturaleza.

Lavoisier

Hay también en esta etapa del planteamiento de experimentos un indiscutible aspecto creativo, tanto en el diseño de los montajes experimentales adecuados como en la superación de todas las dificultades que aparecen en la práctica. Y, evidentemente, juegan también un papel fundamental la habilidad técnica, la capacidad organizativa, etc, convirtiendo así la investigación en un proceso en el que se ponen en juego necesariamente toda una multiplicidad de facetas de la actividad humana en sus aspectos individual y colectivo.

Pasamos ahora a ocuparnos de la interpretación de los resultados obtenidos en un experimento.

A.6 Como resultado de la experimentación suelen obtenerse datos. Señalar procedimientos para asegurar su fiabilidad, ordenarlos e interpretarlos y para decidir si se cumplen las hipótesis.

COMENTARIOS A.6

De nuevo es preciso referirse aquí al papel jugado por el aparato lógico de la ciencia, presente en la ordenación y clasificación de los resultados (tablas, representaciones gráficas, etc), en el establecimiento de correlaciones entre las distintas magnitudes o en la misma determinación de la fiabilidad de los resultados alcanzados. Todo ello exige la repetición del experimento y un tratamiento matemático de los datos —conocido como "determinación del valor representativo y el cálculo de la imprecisión"— sobre el que nos detendremos con cierto detalle.

Es necesario, sobre todo, dejar claro que si bien sólo mediante el experimento y la interpretación de los resultados pasan a ser aceptadas las hipótesis verificadas, se debe rechazar la idea (que en ocasiones genera la enseñanza) de que unos pocos experimentos aislados son suficientes para hacer aceptar o rechazar una hipótesis (por ejemplo la de la influencia de la masa sobre el periodo, en la investigación que se propone posteriormente). El papel de los experimentos es esencial, pero unas determinadas concepciones no se abandonan hasta que hay muy clara evidencia en contra y una concepción alternativa de valor explicativo y predictivo notoriamente superior (Hodson, 1985). Nos asomamos así a lo que se entiende por leyes y teorías científicas en las que es preciso detenerse mínimamente.

La interpretación de los datos puede conducir a la aceptación de las hipótesis iniciales y al establecimiento de leyes.

A.7 Exponer las ideas que tengáis sobre qué son leyes y teorías científicas.

COMENTARIOS A.7

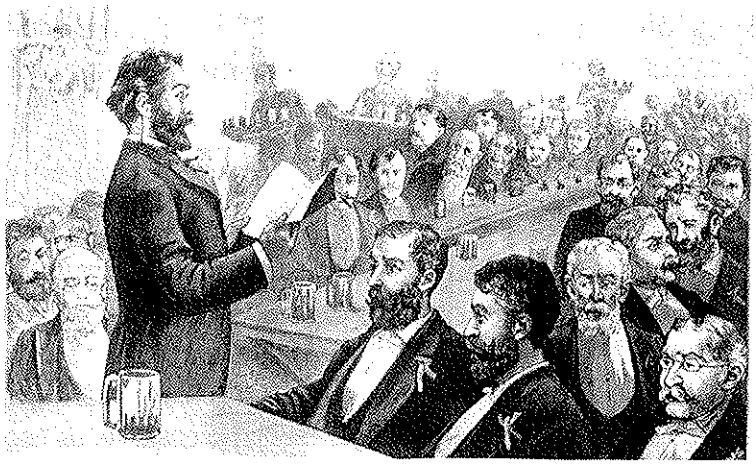
Digamos de entrada que los alumnos reflejan en sus respuestas la confusión existente en el lenguaje ordinario entre los conceptos de hipótesis, ley y teoría, que se intercambian frecuentemente. Es preciso, pues, detenerse en clarificar estos conceptos.

En lo que se refiere a las leyes, podemos decir que una ley científica no es otra cosa que una hipótesis confirmada, que afirma una relación constante entre dos o más variables (Bunge, 1972). La ley científica aparece así como el resultado del complejo proceso que hemos descrito hasta aquí y que se inicia con el planteamiento mismo del problema. Su naturaleza, sus características, van a venir determinadas por las de todo el proceso científico del que es resultado. Así, podemos referirnos en primer lugar al carácter simplificador o de aproximación que tiene toda ley científica, si tenemos en cuenta el análisis que acompaña ya al propio enunciado de los problemas, que transforma los fenómenos complejos, y frecuentemente inabordables de la realidad, en situaciones más simples a las que se refieren las hipótesis. Análisis que se reproduce, como ya se vio, en el diseño experimental, con el control cuidadoso de condiciones preestablecidas. Por ello, la ley aparece siempre como una aproximación, o dicho con otras palabras, tiene un determinado campo de validez.

Otro rasgo fundamental de la ley científica es, sin duda, su carácter cuantitativo, su expresión matemática. Matematización que comienza con la introducción de conceptos

operativos (magnitudes) que aparecen en la ley ligados por determinadas relaciones constantes. Conviene señalar, también, que el sentido de una ley no se agota en la consideración del proceso que conduce a su establecimiento, sino que cobra su plena significación en el marco del cuerpo coherente de conocimientos en que se inserte, es decir, en el marco de lo que se conoce como teoría (Hempel, 1976).

Siguiendo a Bunge, diremos que la teoría designa un sistema de hipótesis entre las cuales destacan las leyes (hipótesis corroboradas), de modo que el núcleo de una teoría está constituido por un sistema de leyes. Tal sistema viene caracterizado por la existencia de relaciones de deductibilidad (de aquí el nombre de sistema hipotético-deductivo), es decir, de una unidad lógica que es la que concede a la teoría su carácter de cuerpo coherente de conocimientos. Podemos hablar así de teoría atómico-molecular de las sustancias, teoría electromagnética...



Comunicación de resultados

A.8 Elaborar, a modo de síntesis de lo visto hasta aquí, un diagrama de un ciclo de investigación.

COMENTARIOS A.8

Los diagramas elaborados sólo pueden aspirar a dar una cierta idea de la complejidad del aborde científico de los problemas y resaltar algunos de sus aspectos más relevantes. Debemos ser conscientes, además, que la naturaleza de los ejemplos tratados debe acer-

carse más a los trabajos de tipo técnico que a los de naturaleza más general y teóricos. Lógicamente, los diagramas construidos por los distintos grupos serán diferentes, expresando así la ambigüedad del trabajo científico, lejos de la visión simplista de un conjunto de etapas rígidas que pueden seguirse mecánicamente en un orden prefijado.

Un posible ejemplo de diagrama se refleja a continuación (Gil y Carrascosa, 1992).

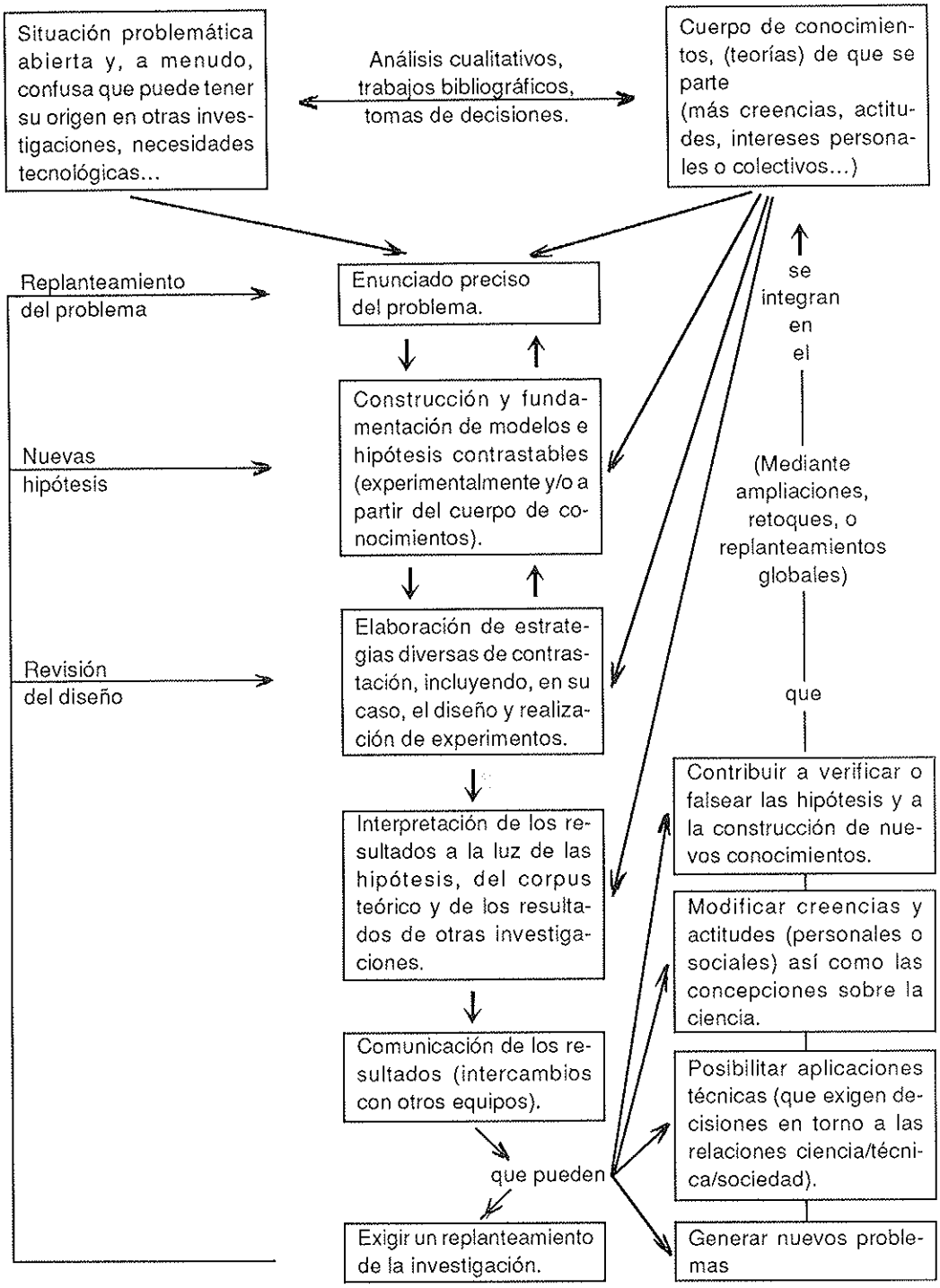
Por otra parte, la comparación entre un tratamiento científico y la forma de abordar los problemas en la vida cotidiana, ha de dejar claro el profundo cambio metodológico que la ciencia supuso: un cambio metodológico nada fácil que vino a superar la seguridad en las «evidencias» del sentido común, introduciendo una forma de pensamiento a la vez más creativa y más rigurosa, que obliga a poner en cuestión lo obvio, a imaginar nuevas posibilidades a título de hipótesis, a someter dichas hipótesis a contrastación en condiciones controladas y a edificar cuerpos coherentes de conocimientos. Sobre ello volveremos en el capítulo 3.

A.9 (Opcional) Exposición por el profesor de algunas limitaciones de cualquier intento de identificación de «etapas» en el trabajo científico.

COMENTARIOS A.9

El objetivo fundamental de esta actividad es evitar que los alumnos puedan pensar en el «método científico» como un conjunto de etapas cuyo seguimiento según un turno riguroso, garantiza el éxito de cualquier investigación. Se tratará, pues, de criticar la idea de método científico como una serie de pasos sucesivos a aplicar mecánicamente o recetas exhaustivas e infalibles para investigar (Bunge, 1980). No obstante, es necesario aclarar que en cualquier investigación existen una serie de características más o menos explícitas sin las cuales no es posible calificarla como científica, como sería por ejemplo el papel jugado por los cuerpos teóricos de conocimientos vigentes, la importancia de actividades como la invención de hipótesis —que al principio pueden no estar bien definidas—, el análisis riguroso de resultados, etc. y el carácter social y colectivo que, cada vez más, tiene el trabajo científico (Gil, 1983).

EJEMPLO DE DIAGRAMA DE UN CICLO DE INVESTIGACIÓN.



2. ANÁLISIS DEL PROCESO DE MEDIDA

En la breve aproximación al trabajo científico realizada hasta ahora, ha quedado patente el papel del tratamiento cuantitativo en la metodología científica. Aquí nos proponemos, consecuentemente, detenernos en la clarificación del proceso de obtención y fiabilidad de los datos en un experimento.

A.10 Con objeto de establecer en qué consiste el proceso de medida, medir la longitud de la mesa.

A.11 (Opcional) Idem su superficie.

COMENTARIOS A.10 Y A.11

El hecho de que los alumnos den valores como 3'5 «bolígrafos», 3 palmos y 4 dedos..., permite una reflexión sobre qué es medir («comparar una determinada cantidad de una magnitud con otra cantidad que se toma como unidad») y conceptos tales como magnitud, unidad y cantidad. Este proceso de comparación se ve facilitado por instrumentos adecuados.

Si se desea, se puede hacer una breve incursión sobre las características que debe poseer una unidad o sobre el Sistema Internacional de unidades (a lo largo del curso habrá, también, ocasiones para ello). Si se realiza la A.11, los alumnos advierten que pueden proceder por comparación directa («la superficie de la mesa es 63 veces la superficie de una goma de borrar») o utilizando relaciones geométricas (base x altura). Se introduce así, la idea de magnitudes fundamentales -aquellas cuya unidad se define arbitrariamente- y derivadas.

A.12 Para detectar posibles dificultades que pueden presentarse cuando se mide, el conjunto de los alumnos de la clase procederá a medir, por ejemplo, la altura de un compañero, utilizando cintas métricas como instrumento. Cada alumno realizará su medida independientemente, sin intercambios verbales y anotará el valor obtenido en un trozo de papel. Hacer, por último, una puesta en común de los valores obtenidos.

COMENTARIOS A.12

Se trata de una actividad —que debe realizarse de forma ágil— que conduce a la obtención de un conjunto de resultados dispersos, dado que los alumnos incurren en una serie de errores de medida que, en general, afectan aleatoriamente al resultado. Si estos errores no han sido excesivamente graves (lo que en bastantes ocasiones suele ocurrir y sobre los que conviene hacer reflexionar a los alumnos), la construcción de un histograma— que debe surgir en respuesta a la necesidad de facilitar el manejo de los valores y de que puedan verse globalmente— debe conducir a una «campana de Gauss». Ello da pie a la introducción de dos ideas fundamentales: la idea de desviaciones aleatorias por exceso y por defecto respecto a un valor central, y la idea de que las pequeñas desviaciones son más probables que las grandes.

A.13 ¿Qué problemas debemos plantearnos y resolver a la vista de los resultados obtenidos?

A.14 ¿Qué valor se puede tomar como «bueno», es decir, como representativo de la serie de medidas obtenidas? Sugerir justificadamente más de una forma de obtener dicho valor representativo.

A.15 Suponer que al calcular la media se obtiene 1'728293... m. Discutir hasta qué punto ese es el valor «exacto» de la altura.

A.16 Considerar las siguientes medidas de dos longitudes A y B:

Longitud A (mm):	69,	71,	74
Longitud B (cm):	174,	174,	174

¿Qué valor habrá que tomar como representativo y cuál será su imprecisión en cada caso? ¿Qué puede decirse, también en cada caso, acerca del número de medidas realizadas?

COMENTARIOS A.13, A.14, A.15 Y A.16

Los resultados obtenidos en la medición de la altura de un alumno, plantean con claridad problemas que deberemos resolver si se desea dar un valor para la misma:

—¿qué valor tomar como representativo de una serie de medidas?

—¿cuántas veces será necesario repetir la medida?

—¿en qué grado es «exacto» el valor tomado como representativo?

En la A.14, los estudiantes se suelen referir a la media (en la que se compensan las diferencias por exceso y por defecto, igualmente probables), al valor que se repite más veces (la moda) y, con mucha menor frecuencia, al valor central (mediana).

En la A.15 se sale al paso de la tendencia de los alumnos a poner tantas cifras decimales como salgan en la calculadora. Rápidamente los alumnos admiten que es absurdo pretender que ese valor es la altura exacta y que el valor «exacto» nunca podremos saberlo. Pero también que no es posible cualquier resultado. Así, podemos afirmar con bastante «seguridad» que la altura es mayor de 1'70 m y menor de 1'75 m; incluso, aunque con menor «seguridad», que es mayor que 1'71 m y menor que 1'74 m, pero los propios alumnos muestran más reticencias a aceptar que esté comprendida entre 1'72 m y 1'73 m. Se introduce, de este modo, intuitivamente, la idea de margen de fiabilidad (también llamado imprecisión absoluta) del resultado de una serie de medidas.

En A.16, algunos alumnos proponen que en la serie B la imprecisión es 0, ya que se obtiene siempre el mismo resultado. El profesor debe intervenir con preguntas adecuadas hasta concluir que toda medida o serie de medidas está afectada siempre de una imprecisión que, como mínimo, es la sensibilidad del instrumento (es decir, su límite de precisión, la menor división de la escala). Así, el valor representativo de la serie B será (174 $\pm$ 1) cm, ya que el instrumento aprecia cm. El hecho de que salga siempre el mismo valor debe hacernos pensar si el instrumento tiene la sensibilidad que deseamos para lo que queremos medir —pensemos que cuanto mayores sean las divisiones, es decir, menos preciso, mayor será la coincidencia entre las distintas medidas—. En la serie A, la media es 71'333... y la sensibilidad del instrumento es de 1mm. Ello supone que, al menos, la imprecisión es de ese valor, con lo que es absurdo poner 71'333... (con cifras decimales) si ya dudamos de las unidades. En cursos superiores se verá cómo obtener la imprecisión de series de gran dispersión, como la A, que, en general resulta mayor que la sensibilidad del instrumento. Por supuesto, en estos casos es necesaria la realización de un mayor número de medidas.

No obstante, en este curso procederemos del siguiente modo:

—tomaremos al menos tres medidas de cada valor y (si no hay mucha dispersión) obtendremos el valor representativo.

—la imprecisión de este valor será, como mínimo, la sensibilidad del instrumento utilizado.

—para expresar el resultado correctamente, la última cifra significativa del mismo será la que viene afectada por la imprecisión. Así, en la serie A, no es correcto (71'3 $\pm$ 1) mm, porque no tiene sentido que si la imprecisión afecta a las unidades, estemos apreciando hasta las décimas. Además, la dispersión de las medidas en esta serie, hace que la imprecisión sea superior a la sensibilidad del instrumento.

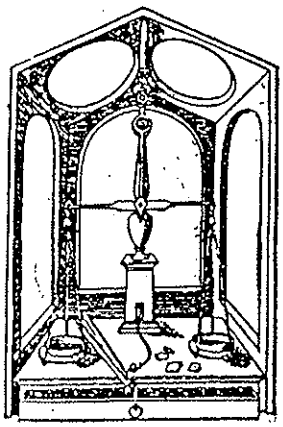
No obstante, el profesor puede resaltar que la calidad de una medida no depende solamente de su imprecisión, haciendo la pregunta: ¿es buena una medida cuya imprecisión es de 1 cm?

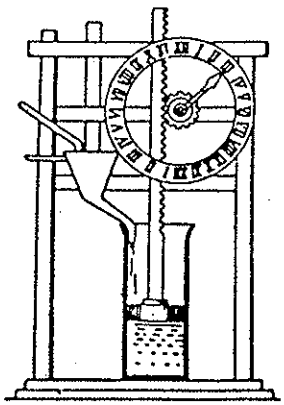
El apartado 2.1 suministra numerosas ocasiones de familiarizarse con el proceso de medida y el manejo correcto de instrumentos.

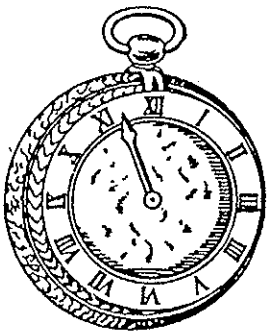
A.17 Con un instrumento de medida cuya sensibilidad es 0'1 cm, un alumno ha realizado una medición que ha dado como resultado 23 cm. Expresar correctamente este resultado.

2.1. Práctica reiterada de la medida: utilización de diversos instrumentos

La práctica de la medida va acompañada muy frecuentemente del uso de diversos instrumentos, cuyo manejo correcto exige una cuidadosa familiarización con los mismos, comprensión de su fundamento, etc. .







A.18 Enumerar las características que convendría conocer de un instrumento para su correcta utilización.

A.19 Realizar medidas con algunos instrumentos (balanza de un sólo brazo, cronómetro, probeta y termómetro) hasta familiarizarse plenamente con ellos. Expresar correctamente el resultado.

COMENTARIOS A.18 Y A.19

Estas actividades están dirigidas a favorecer un manejo menos mecánico de los instrumentos del que es habitual y conviene que sean realizadas cada vez que los alumnos vayan a manejar un nuevo instrumento. Aquí podríamos limitarla al manejo de los que se van a utilizar en la pequeña investigación que los alumnos van a realizar al final del tema, que son la cinta métrica y el cronómetro, dejando el resto de los aparatos para el momento en que vayan a utilizarlos.

La A.18 lleva a una reflexión sobre cuáles son los aspectos que interesa conocer, en general de un instrumento. Algunos de los aspectos propuestos por los alumnos son:

—Escala del instrumento (unidades, intervalo de valores medibles...)

—Sensibilidad (mínimo valor que aprecia)

—Forma en que se maneja

—Posibles errores sistemáticos (error del cero...)

—Fundamentación

Además de estos aspectos generales, cada instrumento en particular tiene sus características propias, de forma que su observación y manejo introduce variantes y posibilidades de desarrollo. Es necesario para ello disponer de, al menos, un ejemplar del instrumento para cada grupo de alumnos y proceder a diversas lecturas hasta alcanzar un dominio suficiente, planteando para ello algún pequeño problema (por ejemplo, la determinación del tiempo que tarda en producirse un determinado fenómeno reproducible).

No se trata sólo de utilizar correctamente los instrumentos. A lo largo del curso se realizarán estimaciones -que pueden iniciarse en esta actividad-, de manera que los alumnos tengan una idea aproximada de las dimensiones, volumen, masa..., de objetos cotidianos.

3. LA CONSTRUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS COMO TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

COMENTARIOS A ESTE APARTADO

La construcción e interpretación de gráficos plantea habitualmente serias dificultades a los alumnos, que cometen todo tipo de errores. Conviene, pues, detenerse en este aspec-

to del trabajo científico sobre el que se incide, también, desde distintas áreas o asignaturas. No debe pretenderse, sin embargo, que los alumnos aprendan «todo» sobre gráficas en este apartado, de un modo descontextualizado. Por el contrario, se trata de un aspecto sobre el que se incidirá en numerosas oportunidades a lo largo del curso. Incluso, puede ser conveniente un tratamiento progresivo de los distintos tipos de relación entre variables y sus gráficas cuando surja la necesidad en problemas concretos del desarrollo del curso. Aquí nos limitaremos a una introducción cualitativa -muy importante- y a las funciones lineales.

La interpretación de los datos experimentales obtenidos en un proceso de investigación suele, a menudo, pasar por su representación gráfica que facilita la concreción del tipo de dependencia que existe entre dos magnitudes. Es preciso, pues, familiarizarse con las representaciones gráficas de las formas de relación más frecuentes.

A.20 Representar gráficamente la relación entre el nº de metros de un cable de plástico y el peso total del cable.

A.21 Los valores obtenidos al medir la masa de un cable de plástico han sido:

N (nº de m)	1'00	2'00	3'00	4'00
M (nº de g)	65	130	195	260

Encontrar el número de metros de 30 gr de cable.
Encontrar la masa de 2'37 m y de 10'00 m de cable.
Expresar la relación existente entre las dos magnitudes en forma de ecuación.

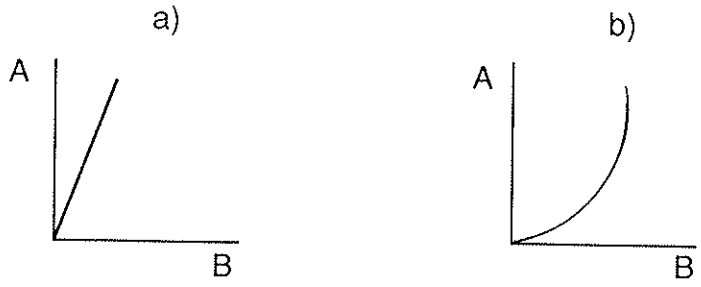
COMENTARIOS A.20 Y A.21

Se trata de que los alumnos se familiaricen con la representación gráfica de funciones lineales. En particular, en la A.21 se introduce —¡esperemos que no por primera vez!— el concepto de función.

El profesor debe resaltar que cuando se tienen dos magnitudes, como N y M, tales que a un valor determinado de N le corresponde un determinado valor de M (y sólo uno), se

dice que una es función de la otra (es decir, que el nº de gramos es función del nº de metros), y simbólicamente se representa como M = f(N) (del mismo modo podríamos decir que N = f(M)). En muchos casos de interés en Fª y en Qª es posible encontrar una relación entre magnitudes que se expresa en forma de ecuación (p. ej.: y = 3x; e = 3t + 5; ...) de manera que se puede obtener el valor de una magnitud a partir del valor de la otra sin hacer la medición. Cuando no es posible encontrar esta relación, se pueden hacer predicciones a partir de la gráfica.

A.22 Al representar los datos obtenidos en distintas experiencias (no relacionadas) en las que se deseaba encontrar la relación existente entre dos magnitudes A y B, se han obtenido las siguientes gráficas:



Extraer toda la información posible sobre la relación entre las dos magnitudes.

COMENTARIOS A.22

Actividades cualitativas como ésta, son necesarias para evitar aprendizajes mecánicos u operativistas. En efecto, la información cualitativa que se puede extraer es muy valiosa. Para orientar la respuesta de los alumnos pueden plantearse preguntas más concretas como:

—¿qué le sucede a A cuando B aumenta?

—¿qué le sucede a A cuando B aumenta el doble?

—¿qué le sucede a A cuando se consideran aumentos regulares de B (siempre en la misma cantidad)?

Es necesario salir al paso de frecuentes errores de los alumnos, que suelen establecer,

de manera irreflexiva, comparaciones entre valores de A y valores de B (por ejemplo afirman que «los valores de A son mayores que los de B»), así como entre incrementos de A e incrementos de B, llevándoles a considerar que A y B son magnitudes distintas, y por tanto, sus escalas o incrementos no son comparables (3 horas no es mayor ni menor que 5 metros).

En la gráfica a) una misma variación de B (incremento de B, ΔB) produce —independientemente del valor de B a partir del cual se produzca— una misma variación (ΔA) en A. Luego podemos afirmar que para estas magnitudes existe una relación constante entre sus variaciones ($\Delta B/\Delta A$ = cte o $\Delta B = k.\Delta A$).

En la gráfica b), en cambio, si bien al aumentar B aumenta A, este aumento no se realiza al mismo ritmo. Una misma variación de B produce un variación de A (ΔA) mayor, cuanto mayor sea el valor de B a partir del cual se produce, es decir, A aumenta más rápidamente que B.

No obstante, a lo largo de este curso, tanto en Física y Química como en Matemáticas, tendremos oportunidades para profundizar en estos aspectos.

A.23 (Opcional) representar gráficamente la relación entre dos magnitudes A y B en la que al aumentar B disminuya A, de forma que siempre a doble valor de B corresponda un valor mitad de A. Proponer algún ejemplo de relación entre dos magnitudes donde ocurra esto.

COMENTARIOS A.23

En esta actividad se pretende introducir la proporcionalidad inversa de una forma cualitativa diferenciándola de la relación cuya representación viendo que a iguales incrementos de la variable B corresponden incrementos cada vez menores de la variable A.

Podemos proponer como una posible expresión matemática A = K/B y pedir que se analice si cumple las condiciones impuestas en el enunciado, así como su validez para los ejemplos aportados por los alumnos.

Ningún científico piensa con fórmulas. Antes de que el físico comience a calcular, debe tener en su cerebro el curso de los razonamientos. Estos últimos, en la mayoría de los casos, pueden ser expresados con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente.

Albert Einstein

4. REALIZACIÓN DE UNA PEQUEÑA INVESTIGACIÓN: FACTORES QUE DETERMINAN EL PERÍODO DE UN OBJETO PENDULAR

COMENTARIO GENERAL AL APARTADO 4

Aunque una pequeña investigación como la propuesta tiene interés para ilustrar algunas de las características del trabajo científico, convendrá llamar la atención sobre el hecho de que se trata de un estudio puntual que no permite percibir el papel esencial de la búsqueda de coherencia —a la que nos referimos en el próximo capítulo y durante todo el curso— en la construcción de conocimientos científicos. Es necesario evitar imágenes ingenuas sobre el trabajo científico y la naturaleza de la ciencia.

A.24 Exponer qué se entiende por un objeto pendular y proponer distintos ejemplos.

COMENTARIOS A.24

Mediante esta actividad se trata de elaborar una definición aceptable de objeto pendular como todo cuerpo cuya posición cambia regularmente respecto a una posición central o de

equilibrio. Entre los ejemplos citados se puede encontrar el caso de una bolita que cuelga de un muelle elástico, así como diversos tipos de péndulos. Una de las características fundamentales de un cuerpo que oscila es su periodo o tiempo que tarda en realizar una oscilación completa. El problema que se nos ha planteado consiste en averiguar de qué factores depende y cómo depende, el periodo de un péndulo. Naturalmente dicha dependencia será distinta según el tipo de péndulo de que se trate. Para poder comenzar pues, necesitamos simplificar el problema, de manera que sea facílmente abordable mediante experiencias sencillas realizables en el laboratorio.

A.25 Describir con la mayor precisión posible el tipo de oscilador más simple que se conciba, para facilitar así un primer estudio como el que aquí se pretende.

COMENTARIOS A.25

Las propuestas de los alumnos apuntan a la construcción de un péndulo formado por un pequeño objeto suspendido de un hilo que no se alargue. Es fácil así aproximarse a la idea de péndulo simple ideal o de masa concentrada en un punto que cuelga de un hilo inextensible y de masa despreciable y cuyo otro extremo está sujeto a un punto fijo, de forma que el sistema oscila en un mismo plano sin rozamiento apreciables. De esta forma el problema ha quedado precisado en: **Averiguar de qué factores depende y cómo depende el periodo de un péndulo aproximadamente simple.**

A continuación se puede pasar a la emisión de hipótesis.

A.26 Señalar de qué factores cabe suponer que depende el periodo de un péndulo simple.

COMENTARIOS A.26

Los factores indicados por los alumnos tales como: «fuerza con que se lance la masa que cuelga», «velocidad con que sale», «punto desde donde se lanza», «amplitud»..., pueden quedar englobados en uno sólo que se operativizaría por medio del ángulo que forma el hilo con la vertical al soltar el péndulo.

Además de éste, otros factores señalados habitualmente son la longitud del péndulo

y el peso. Admitiremos el peso como un solo factor a tener en cuenta, a pesar de que sabemos que incluye a otras dos magnitudes: masa y gravedad. No es éste el momento de abordar dicho problema que será objeto de estudio en temas posteriores. Finalmente, es posible establecer a título de hipótesis que: $T = f(L, p, \alpha)$.

Es conveniente proceder a una profundización de las hipótesis, aventurando razonadamente nuestras expectativas acerca de la forma en la que van a influir cada uno de los factores citados.

A.27 Señalar justificadamente cómo cabe esperar que influya cada uno de los factores citados en el valor del periodo.

COMENTARIOS A.27

En primer lugar la longitud **L** del hilo, es aceptada sin ningún problema por parte de todos los alumnos los cuales piensan que cuanto mayor sea dicha longitud, mayor será el periodo de oscilación **T**.

La influencia del peso **p**, es vista de modo que cuanto mayor sea dicho peso más rápidamente se moverá y menor será entonces el valor de **T**. Es posible no obstante que algunos alumnos discrepen de esta idea. No debemos tomar ningún partido todavía, limitándonos a recoger las distintas opiniones y posponer el reconocimiento de su validez, hasta la constrastación experimental. Sin embargo, si que convendría insistir en la necesidad de conseguir que el rozamiento sea despreciable con objeto de que altere lo menos posible los resultados de la experiencia. Al preguntar a los alumnos sobre cómo lograr esto, sugieren la utilización como masa aproximadamente puntual, la de una pequeña esfera de acero. Asímismo es preciso que la unión del hilo al soporte se realice de forma que dicho hilo quede sujeto por un solo punto.

Finalmente, respecto al ángulo α, la mayor parte de los alumnos piensa que cuanto mayor sea éste, mayor tendrá que ser también el valor del periodo **T**, en razón de que la bolita cuando se suelte tendrá que recorrer un arco mayor y por tanto tardará más tiempo.

A.28 Diseñar detalladamente los experimentos necesarios para contrastar cada una de las hipótesis anteriores.

COMENTARIOS A.28

La idea general del montaje es muy sencilla: Se trata esencialmente de montar un péndulo aproximadamente simple e ir variando cada uno de los factores manteniendo constantes los demás (separación de variables). Para ello tan sólo se precisan bolitas de diferente masa, hilo, soportes, cintas métricas y cronómetros. Debemos acostumbrar a los alumnos a que terminen el diseño experimental con detalle antes de comenzar la experimentación. En caso contrario, pueden encontrarse con dificultades como las planteadas en A.29 en el laboratorio, que dispersan la atención y hacen poco fructíferos los esfuerzos realizados.

Existen también algunos detalles de tipo técnico que conviene abordar antes de comenzar la propia realización de los experimentos.

A.29 Discutir qué ha de entenderse por longitud del péndulo y cómo determinar de una forma suficientemente precisa el valor del periodo.

COMENTARIOS A.29

La longitud del péndulo no ofrece en principio ninguna dificultad ya que los alumnos señalan rápidamente que la medida habría de hacerse desde el punto de suspensión hasta el centro de la bola. (Podemos dar entonces el valor del radio de la bola).

Respecto a la medida del periodo, es evidente que aunque se disponga de buenos cronómetros, la determinación del tiempo que tardaría la bolita en realizar una sola oscilación sería bastante imprecisa ya que se trata normalmente de un valor muy pequeño. Los alumnos sugieren entonces la posibilidad de medir el tiempo **t** que tarda el péndulo en realizar varias oscilaciones completas (por ejemplo 5 o 10, ya que la oscilación no se amortigua apreciablemente) y dividir dicho tiempo por el número de oscilaciones realizadas, es decir: $T = t/N$.

A.30 Proceder a la realización de las experiencias y a la elaboración de tablas de resultados analizando en qué medida confirman o no las hipótesis de partida.

COMENTARIOS A.30

Es importante que los alumnos hagan constar en su cuaderno de notas aquellos detalles que en principio puedan sorprenderles de acuerdo con sus hipótesis de partida. Estos comentarios pueden ser de gran utilidad en la interpretación que de los resultados se haga en actividades posteriores y sobre todo cuando se tenga que elaborar el informe final.

En la propia realización de los experimentos suelen plantearse algunos problemas sobre los que conviene estar al tanto. Es preciso por ejemplo insistir en que no se comience a contar el tiempo nada más soltar la bola y que es mejor esperar a que el péndulo se estabilice teniendo la precaución de no dar golpes a la mesa, etc.

De esta forma, los alumnos constatan en primer lugar la no influencia de α en el valor de **T**, falsando así una de las hipótesis enunciadas. Podemos indicar que mediante experimentos mucho más rigurosos se ha comprobado que efectivamente el valor de α no influye, pero siempre y cuando estemos manejando ángulos de apertura pequeños (cuanto más pequeños mejor). Ello da pie a sugerir que para las restantes medidas se trabaje siempre con ángulos pequeños (menores de 30º)

Para determinar la posible influencia de la masa se pueden utilizar dos bolas iguales de diferente material (sin que sea preciso conocer el valor real de sus masas, basta con apreciar que sean sensiblemente diferentes). En cuanto a la longitud, conviene realizar al menos cuatro medidas (no olvidando que a una longitud cero, le corresponderá un periodo cero).

Los alumnos comprueban de esta forma (con gran sorpresa por parte de muchos), que el valor del peso no influye en el valor de **T**, falsando así otra de las hipótesis iniciales. Esto permite reflexionar acerca del peligro de hacer afirmaciones basándose únicamente en lo que parece ser de sentido común, sin tener una actitud crítica inicial incluso ante cosas aparentemente obvias.

En cuanto a la influencia de la longitud, los datos se pueden recoger en una tabla donde se expresen los resultados (en unidades internacionales) de **L**, **t** y **T**. La simple observación de los mismos muestra como el periodo sí que depende de la longitud, de forma que tal y como se había supuesto, al aumentar **L**, el valor de **T** aumenta también.

La simple observación de los datos recogidos anteriormente no nos dice nada acerca del tipo de relación existente entre **L** y **T**. Encontrar esta relación sería algo importante ya que, por ejemplo, nos permitiría calcular

el valor del periodo de un péndulo simple sin necesidad de realizar ningún experimento.

A.31 Explicar qué deberíamos hacer con los datos obtenidos para descubrir el tipo de relación matemática que liga el periodo de un péndulo simple con su longitud.

COMENTARIOS A.31

Los alumnos, que ya han visto algo sobre interpretación y construcción de gráficas, sugieren representar gráficamente **T** frente a **L** y analizar el tipo de línea que salga. Al hacerlo se observa que se obtiene lo que parece ser una parábola invertida, por lo que no resulta difícil establecer que a iguales incrementos en la longitud no corresponden iguales incrementos en el periodo, sino que a medida que aumenta la longitud, los incrementos en el periodo son cada vez menores.

Con esta pequeña investigación puntual hemos podido averiguar los factores de que depende y cómo depende el periodo de oscilación de un péndulo simple, teniendo la ocasión de plasmar en ejemplos concretos qué se entiende por precisar un problema, emitir hipótesis, analizar variables, etc. El movimiento oscilatorio es uno de los más importantes de la naturaleza y su estudio ha supuesto importantes avances en diversos campos como la estructura de la materia, las ondas, la construcción de puentes, de relojes, etc.

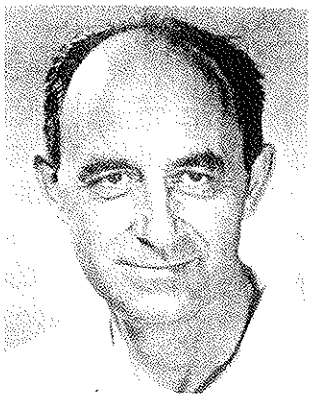
A.32 Elaborar y presentar un informe que recoja el trabajo realizado en esta investigación en donde se destaquen cada una de sus fases: planteamiento del problema, análisis del problema, emisión de hipótesis, etc

A.33 Construir un péndulo que «bata» segundos.

5. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS (A realizar cuando se considere conveniente)

R. Feynman

C. S. Wu



E. Fermi

L. de Broglie

W. Heisenberg

M. Sklodowska (M. Curie)

¿Quién es el científico?

A.34 La incorporación de las mujeres a determinados campos de las ciencias se ha producido muy recientemente. Pensar posibles causas de ello.

A.35 a) Se calienta con un mechero un bloque de hielo hasta que se funde y pasa a agua. Dibujar cualitativa y razonadamente una gráfica que represente la temperatura en función del tiempo.

b) Los valores obtenidos experimentalmente son estos:

Temperatura del objeto (ºC)	-10	-7	-6	-1	0	0	0
Tiempo (s)	0	20	30	60	70	90	100

Representarlos y comparar con la gráfica realizada anteriormente, corrigiendo y comentando posibles errores.

A.36 Leer detenidamente el artículo de prensa del Documento I y extraer las características esenciales del trabajo científico de las que carecen la astrología y «cosas» parecidas.

A.37 Los comentarios del Documento II —extraídos de una revista científica de prestigio internacional («Investigación y Ciencia»)— ponen de manifiesto la importancia de la comunicación de resultados, la naturaleza colectiva del trabajo científico y algunas de las relaciones actuales entre ciencia y sociedad. Extraer algunas conclusiones sobre estos aspectos.

DOCUMENTO I (EL PAÍS, lunes 3 de septiembre de 1990)

LA ASTROLOGÍA. ¿CIENCIA O CAMELO?

DE CARTAS ASTRALES Y OTRAS IMPOSTURAS

José A. de Azcárraga

El autor sostiene que el debate entre astrólogos y astrónomos tiene muchos aspectos de la antigua polémica entre religión y ciencia. En su opinión, el reflorecimiento de la astrología y otras doctrinas "falaces e inútiles", dice, sólo sirve para que médiums y quirománticos abusen de la angustia y credulidad humana.

Desde hace algunos años, astrólogos, quirománticos y otros futurólogos desarrollan una *ofensiva* en los medios de comunicación sin que, hasta ahora, se haya dado el saludable contrapeso crítico. Hace poco, sin embargo, los astrofísicos españoles han roto una lanza a favor del buen sentido con la publicación de un manifiesto.

La reacción que ha suscitado esta proclama permite esclarecer los verdaderos términos del debate entre astrología y astronomía. No se trata aquí de dos teorías científicas que compitan por describir mejor un fenómeno. Por el contrario, la renuncia de la astrología al método empírico confiere a la discusión muchos aspectos de la vieja polémica entre religión y ciencia, aunque la ciencia goce ahora del poder y la religión esté reemplazada por el credo astrológico.

Y, naturalmente, es difícil rebatir lo que no es más que una profesión de fe. Pues el rasgo definidor de muchos partidarios de la astrología es precisamente su deseo de creer, que les hace inmunes al fracaso experimental de sus *predicciones* y, por tanto, a la esencia del método científico. Esa fe suele ir acompañada de un rechazo a la ciencia, a la que censuran su incapacidad de satisfacer las aspiraciones de los hombres. Su actitud puede suscitar comprensión y hasta simpatía, pero la ciencia- al menos la ciencia pura- se ocupa de las leyes de la naturaleza, no de la felicidad humana.

La astrología fue, en su origen, algo inevitable. Tras comprobar que el Sol determina las estaciones, y éstas las cosechas, era natural admitir el influjo de los astros sobre el hombre. Pero de reconocer algún efecto -nuestro ritmo vital es consecuencia del periodo de rotación de la Tierra, por ejemplo- a sostener que nuestro destino está influido por los astros media un gigantesco salto en el vacío.

Doctrinas falaces

Tales generalizaciones son hoy insostenibles: hace siglos que la astronomía se separó de la astrología, como la química lo hizo de la alquimia. A pesar de ello, hoy reflorecen la astrología, el tarot, el I Ching y otras doctrinas tan falaces como inútiles. Médiums y quirománticos se arropan con títulos misteriosos, expedidos por universidades fantasmas —nunca mejor dicho— para llenar sus consultorios abusando de la angustia y de la credulidad humanas. La actitud de los medios de comunicación, cuando no su complicidad, resulta lamentable. Se mide, por ejemplo, el tiempo que la televisión dedica a cada partido político. Sin embargo, y ante audiencias que se cuentan por millones, se emiten programas dedicados al horóscopo y al tarot sin que ninguno de ellos muestre el debido escepticismo.

Y cuando excepcionalmente se establece un debate, como uno lejano de TVE, sobre astrología, se enfrenta un firmante del manifiesto de los astrofísicos a *dos* astrólogos. Aunque para defender lo evidente, una persona basta: Einstein, criticado en el libro *Cien autores contra la relatividad* , se limitó a comentar: "si yo estuviera equivocado, un solo autor bastaría". No debe, pues, sorprender que, alentados por este clima propicio, *magos* y *brujas* hayan abierto consultas y tiendas *especializadas*, aunque —tranquiliza saberlo— sólo para atender buenas causas.

¿Podría ser la astrología una ciencia? Si la astrología es el conjunto de *conocimientos* que permite predecir los avatares humanos a través de los astros, la respuesta es que no. Decía Leonardo, hace ya 500 años: "No me ocuparé de la quiromancia, porque en ella no hay verdad... Verás a un gran ejército exterminado en una hora por la espada, y ninguno de los muertos tendrá en su mano las mismas líneas que otro".

Majaderías de futurólogos

La refutación vale obviamente para la astrología, basta sustituir la mano por la *carta astral*. Hace pocos años, la revista científica *Nature* (en la que Crick y Watson desentrañaron el código genético) publicó una experiencia de un grupo de *prestigiosos* astrólogos británicos: el número de aciertos en sus predicciones estuvo muy por debajo del que estadísticamente debía producirse.

Este elemental experimento puede repetirlo cualquiera sin más que leer la prensa, y debería bastar para desacreditar a la pléyade de futurólogos que nos bombardean con majaderías o con trivialidades que cualquier ciudadano informado puede prever por sí mismo. ¡Qué oportunidad han perdido los *astrólogos* para predecir la caída del muro de Berlín! Si los astros se molestan en advertir a cada individuo de su destino, las precauciones adoptadas para anunciar la llegada de la *perestroika*, que afecta a más de 400 millones de seres, han debido ser observables a simple vista.

Por lo que se refiere a los supuestos fenómenos paranormales, *nunca* se ha dado un solo experimento, realizado bajo control científico, y por tanto repetible, que permita afirmar su existencia. Cuando se mencionan experiencias o predicciones fallidas, médiums y astrólogos suelen defenderse señalando que hay muchos intrusos entre ellos. Sería muy útil, para evitar malos entendidos, que ellos mismos desenmascarasen a los impostores, tal como hace la comunidad científica cuando alguien falsea un experimento.

Conviene recordar, además, que la prueba corresponde siempre a quien afirma. Entre tanto, y mientras no se aporte ningún hecho cierto —uno sólo bastaría para empezar—, la astrología, lo paranormal y las *ciencias ocultas* no merecen otro calificativo que el de *dogmas* seudocientíficos basados en el error, la superstición y, con demasiada frecuencia, en el fraude.

DOCUMENTO II

¿FANTASMAS?

¿En qué estado se hallan cuatro polémicas teorías? Ocuparon incluso los titulares de los periódicos. Duraron varias semanas en el candelero. Quien más quien menos echó su cuarto a espadas. Pero ¿qué fue de ellas?

Fusión fría

Ha transcurrido más de un año desde que B. Stanley Pons y Martin Fleischmann anunciaron haber conseguido la fusión nuclear mediante la circulación de corriente eléctrica a través de una bobina de paladio inmersa en un recipiente lleno de agua pesada. Laboratorios de todo el mundo se aprestaron a confirmar aquellos resultados y, aunque unos pocos afirman haber encontrado algunos excesos fugaces de calor o de radiación, la gran mayoría no han encontrado nada que permita hablar de fusión fría.

El último martillazo lo han dado investigadores de la propia Universidad de Utah, donde Fleischmann y Pons realizaron buena parte de sus experimentos. Un equipo dirigido por el físico Michael H. Salamon ha publicado en *Nature* que, después de cinco semanas de utilizar el mismo aparato que Fleischmann y Pons emplearon, no han observado ningún signo de fusión.

Pons y Fleischmann han negado veracidad a esta conclusión, pero no han aportado ninguna prueba. ¡Sin embargo, ellos no tienen por qué preocuparse! A pesar de que sus resultados han sido rechazados por la mayor parte de la comunidad científica, durante el año pasado han recibido 5 millones de dólares del estado de Utah, 400.000 de la Secretaría de Investigación Naval y una aportación generosa de un mecenas anónimo para proseguir sus investigaciones.

Petróleo no biológico

Esta teoría, avanzada por Thomas Gold, de la Universidad de Cornell, comparte con la fusión fría la promesa de una fuente de energía inagotable. Gold cree que el petróleo y el gas no provienen de la materia orgánica (la idea aceptada), sino de la mezcla de los materiales primordiales de la Tierra. Gold mantiene que se almacenan en el manto terrestre grandes cantidades de estos preciosos combustibles.

En 1986 Gold convenció a las autoridades suecas y a numerosos inversores privados para que financiaran un proyecto de perforación que serviría para corroborar la teoría. El experimento se llevó a cabo en el distrito sueco de Siljan, donde hace más de 300 millones de años cayó un asteroide y cuya geografía está salpicada de filtraciones de petróleo y de gas. Los geólogos suelen opinar que los hidrocarburos proceden de depósitos sedimentarios cercanos a la superficie; para Gold, han ascendido desde el manto tras el impacto del asteroide. La perforación de un pozo en el granito del viejo cráter producido abriría un enorme almacén de petróleo y gas. Eso afirmaba.

Cuatro años después, gastados 33 millones de dólares y perforados 6'8 kilómetros de roca sólida, el proyecto se ha suspendido sin haber asomado el manantial de petróleo. Se ha taponado el agujero y cerrado la perforación. Gold dice haber encontrado rastros de gas o de petróleo filtrándose desde abajo, a lo que científicos independientes responden atribuyendo este «resultado» al combustible diesel que él usaba como lubricante para la perforación. Las autoridades suecas se han retirado del proyecto.

Impertérrito, Gold insiste en perforar un nuevo pozo, o mejor aún, dos pozos de 7'5 kilómetros que demostrarían la validez de su teoría. Él y los inversores privados que lo apoyan están buscando los recursos económicos necesarios. «Si todo va bien», explica, los nuevos pozos costarían cada uno «sólo 12 millones de dólares».