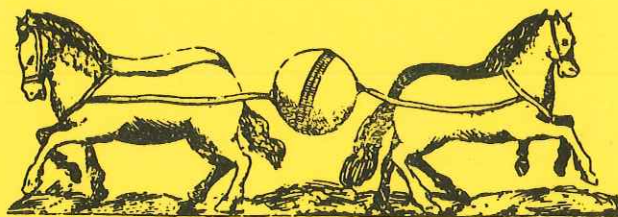


LA CONSTRUCCION DE LAS CIENCIAS FISICO-QUIMICAS

*Programas-guía de trabajo
y comentarios para el profesor*

Edición revisada. 1990



Seminari de Física i Química
Servei de Formació Permanent.
Universitat de València 1990

LA CONSTRUCCION DE LAS CIENCIAS FISICO-QUIMICAS

*Programas-guía de trabajo
y comentarios para el profesor*

*M.^a Luisa Calatayud Aleixandre, Francisco Carbonell Gisbert,
Jaime Carrascosa Alís, Carlos J. Furió Mas,
Daniel Gil Pérez, Josefa Grima Rojas,
Juan Hernández Pérez, Joaquín Martínez Torregrosa,
José Payá Peris, Joan Ribó Canut,
Jordi Solbes Matarredona, Amparo Vilches Peña*

Seminari de Física i Química
Servei de Formació Permanent
Universitat de València, 1990

 NAU llibres

*La opción A de los temas ha sido preparada por el equipo constituido por: Calatayud M.L., Carbonell F., Carrascosa J., Gil D.,
Martínez Torregrosa J., Payá J., y Solbes J.
Los autores de la opción B han sido: Furió C., Grima J., Hernández J., Ribó J. y Vilches, A.*



Libro impreso con papel ecológico.

© Seminari de Física i Química, 1990

EDITA

NAU llibres
Periodista Badía, 10
Teléfono 3603336
46010 Valencia

IMPRIME:

E.C.V.S.A.
Periodista Badía, 10
Teléfono 3603336
46010 Valencia

I.S.B.N.: 84-7642-143-5
Depósito legal: V-2922-1988

PRESENTACION E INDICE

Desde hace algunas décadas, la crítica de la «enseñanza tradicional» y las referencias a la «enseñanza activa» se han convertido en un auténtico lugar común que acompaña a la presentación de cualquier material didáctico para la enseñanza de las ciencias.

Pero no basta con referirse a los «métodos activos», al aprendizaje «por descubrimiento», o al «modelo constructivista», como alternativa a la enseñanza tradicional. Detrás de estas expresiones se encierran orientaciones didácticas diversas y, a menudo, prácticas docentes que apenas difieren de las que se dice criticar.

Una causa indudable de esta situación es la escasa atención que los loables intentos de innovación prestan a los resultados de las investigaciones didácticas. Por ello, con la intención de evitar en lo posible dicho error, dedicaremos un primer capítulo a las bases teóricas que fundamentan nuestras propuestas. Nos referiremos así a algunas implicaciones de la investigación educativa que pueden orientar el futuro de la enseñanza de las ciencias.

En un segundo capítulo describiremos lo que entendemos por programa-guía de actividades en que se concretan, en cierto modo, nuestras propuestas didácticas.

Se incluyen a continuación los programas-guía correspondientes a la Mecánica -presentada, por razones que se exponen en el primer capítulo, como ruptura con la «Física del sentido común»- seguidos de los que completan el paradigma clásico -básicamente óptica, electromagnetismo y estructura atómico molecular de la materia- para terminar con una breve iniciación a la Física Moderna y al impresionante desarrollo de la Química que se deriva.

Todos los programas-guía van acompañados de comentarios para el profesor que describen los resultados previsibles de las actividades propuestas, justifican el hilo conductor, etc. Como podrá constatarse en el índice, se han elaborado dos versiones de la mayor parte de los temas, preparados por dos equipos diferentes. Hemos querido con ello poner a prueba la flexibilidad de esta forma de trabajo, es decir, la posibilidad de introducir las variantes que un equipo o un profesor considere convenientes, sin que con ello se pierda la coherencia de un proyecto común. Es preciso añadir que la inclusión de los distintos temas en este volumen no presupone que este sea el temario que consideramos obligado desarrollar. De hecho somos conscientes de la imposibilidad de impartir todos los temas con un mínimo de profundización y los hemos incluido para facilitar distintas opciones.

Digamos para terminar que el volumen se completa con un apéndice que presenta la resolución de problemas como investigación, pieza clave de nuestra propuesta didáctica y, por supuesto, con una relación de las referencias bibliográficas incluidas en el texto.

INDICE

OPCION A

PRIMERA PARTE: FUNDAMENTACION DE LAS PROPUESTAS DIDACTICAS

Capítulo 1. El futuro de la enseñanza de las ciencias: Algunas implicaciones de la investigación educativa

Capítulo 2. Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias

SEGUNDA PARTE: INTRODUCCION A UN CURSO DE FISICA Y QUIMICA

Capítulo 3. Establecimiento de los objetivos generales del curso

Capítulo 4. Aproximación al trabajo científico

TERCERA PARTE: LA MECANICA COMO RUPTURA CON LA FISICA DEL SENTIDO COMUN

Capítulo 5. La Física del sentido común

Capítulo 6. Cinemática

Capítulo 7. Dinámica. La síntesis newtoniana.

Capítulo 8. Trabajo y energía

Capítulo 9. Calor.

CUARTA PARTE: EL DESARROLLO DEL PARADIGMA CLASICO

Capítulo 10. Movimiento ondulatorio

Capítulo 11. Introducción a la Óptica

Capítulo 12. Electroestática

Capítulo 13. Corriente eléctrica

Capítulo 14. El magnetismo. La síntesis electromagnética

Capítulo 15. El nacimiento de la Química como ciencia

Capítulo 16. Primeras concepciones de la estructura del átomo

QUINTA PARTE: LA CRISIS DE LA FISICA CLASICA

Capítulo 17. Crisis de la Física Clásica y surgimiento de la Física Moderna

SEXTA PARTE: LA ERA DE LA QUIMICA

Capítulo 18. La estructura del átomo y el sistema periódico

Capítulo 19. El enlace químico

Capítulo 20. Las reacciones químicas

Capítulo 21. La Química del Carbono

OPCION B**PRIMERA PARTE: FUNDAMENTACION DE LAS PROPUESTAS DIDACTICAS**

Capítulo 1. (Véase la opción A)

Capítulo 2. (Véase la opción A)

SEGUNDA PARTE: INTRODUCCION A UN CURSO DE FISICA Y QUIMICA

Capítulo 3. (Véase la opción A)

Capítulo 4. Aproximación al trabajo científico

TERCERA PARTE: INTERPRETACION CLASICA DEL COMPORTAMIENTO FISICO-QUIMICO DE LA MATERIA

Capítulo 5. La Física del sentido común

Capítulo 6. Cinemática

Capítulo 7. Dinámica.

Capítulo 8. Trabajo y energía

Capítulo 9. La ciencia del calor y su integración en la Mecánica

Capítulo 10. La interacción electromagnética.

Capítulo 11. La teoría atómico-molecular de la materia.

CUARTA PARTE: INTRODUCCION A LA QUIMICA MODERNA

Capítulo 12. El átomo y la unión de átomos y de moléculas.

Capítulo 13. Reacciones químicas.

Capítulo 14. Iniciación a la Química del Carbono (Química Orgánica)

EL FUTURO DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: ALGUNAS IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACION EDUCATIVA

Los apartados 1 a 5 de este capítulo están basados en el artículo de D. Gil publicado en Revista de Educación, 278, 27-38, (1985) El apartado 6 reproduce el capítulo 1 del libro del alumno.

INTRODUCCION

La preocupación por la adecuación de la enseñanza de las ciencias a las necesidades de un próximo futuro es hoy general en los países desarrollados y está dando lugar a una abundante investigación. Esta atención es, por supuesto, índice de las carencias e inadaptaciones existentes en la situación actual. De hecho, las propuestas avanzadas se han de asentar, para ser eficaces, sobre cuidadosas evaluaciones y revisiones históricas. En caso contrario se corre el riesgo de que las innovaciones ensayadas con la mejor voluntad se traduzcan en agitación confusa sin avances efectivos, como ha ocurrido, p.e., en los EEUU desde la conmoción provocada por el lanzamiento del primer sputnik en 1957 hasta mediados de los 70. Conviene, pues, tener en cuenta los resultados, en algunos aspectos muy negativos (Ausubel 1978), de innovaciones bien intencionadas pero escasamente fundamentadas y evitar su repetición, con el consiguiente retraso, en nuestro país. Afortunadamente, en los mismos EEUU se ha producido una inflexión en este proceso, y la política de impulso a la innovación ha dejado paso al desarrollo de investigaciones que intentan evaluar el resultado de los esfuerzos realizados, analizar las dificultades encontradas y sus causas y, en definitiva, fundamentar más rigurosamente una acción educativa que se ha mostrado en muchos sentidos ineficaz. Como señalan Yager y Penick (1983): «nunca se había dado un esfuerzo semejante por conocer la situación de la enseñanza de las ciencias».

El objeto de este trabajo es, precisamente, presentar algunas de las implicaciones de la investigación educativa de mayor interés -desde nuestro punto de vista- para una reorientación de la enseñanza de las ciencias.

1. ¿LAS CIENCIAS COMO COMPONENTE ESENCIAL DE UNAS NUEVAS HUMANIDADES?

En 1926, Paul Langevin, en el curso de una conferencia sobre «El valor educativo de la Historia de las Ciencias», afirmaba (Langevin 1926): «En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y en la afirmación de los Derechos del Hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general y conformar esas humanidades modernas que aún no hemos logrado establecer». Estas frases pueden ser un ejemplo paradigmático de una visión profundamente optimista de la capacidad educativa de las ciencias que era compartida, en general, por todo el movimiento renovador que podemos designar como Escuela Moderna.

Más de medio siglo después, nos encontramos hoy con un evidente aumento del peso de las ciencias en el curriculum de formación básica y media. Sin embargo, la actitud hacia la ciencia lograda mediante dicha enseñanza está muy lejos de las optimistas y aparentemente fundadas previsiones. La gravedad del problema es tal, que el estudio de las actitudes e intereses de los alumnos se ha convertido en una línea prioritaria de investigación (Gauld y Hukins 1980) (Schibeci 1984).

Conviene detenerse mínimamente en lo que muestran estas investigaciones. En primer lugar cabe resaltar que el interés por las ciencias decrece notoria y regularmente a lo largo del período de escolarización (James y Smith 1985). Existen, por supuesto, diversas hipótesis explicativas de este hecho. Cabe suponer

que este es el resultado del tipo de enseñanza impartida. Pero puede así mismo pensarse que ello sea el resultado de la dificultad creciente de los estudios a realizar en los cursos superiores. De hecho la revisión realizada por Schibeci (1984) no pone en evidencia correlaciones consistentes entre actitudes y variables como el curriculum o la forma de trabajo en clase, lo que parece, en principio, exculpar al sistema educativo y orientar las explicaciones a la interacción ciencias/características de los alumnos. Esta impresión se ve reforzada por los numerosos estudios que muestran una actitud hacia las ciencias notablemente más negativa en las alumnas, apareciendo esta actitud negativa más marcada hacia las ciencias físicas que hacia las biológicas y aumentando las diferencias entre los sexos con la edad (Erikson y Erikson 1984).

Un reciente y cuidadoso estudio experimental realizado en el Reino Unido ha podido mostrar, sin embargo, hasta que punto la Escuela es responsable de esta diferencia (Spear 1984). El estudio consistió en proponer la corrección de un cierto número de ejercicios a 306 profesores de Enseñanza Media con objeto de que evaluaran toda una serie de aspectos (nivel, precisión científica, aptitud para la ciencia, ...). Cada ejercicio fue presentado al 50% de los profesores como realizado por un alumno y al otro 50% como obra de una alumna. Los resultados muestran claramente que los mismos ejercicios eran calificados más altos cuando eran atribuidos a chicos y que los profesores valoraban más positivamente la capacidad de los «varones» para proseguir estudios científicos.

Estos resultados llevan lógicamente a preguntarse si las diferencias entre chicos y chicas no serán debidas en gran medida a los juicios y expectativas mantenidos por el profesorado que refuerzan idénticas presiones del medio social.

Cabe también preguntarse si la Escuela no será igualmente responsable, al menos en parte, de la disminución general del interés hacia las ciencias a lo largo de la escolaridad. Nuevos estudios son aquí necesarios, pero es bien conocido el efecto que unas expectativas positivas o negativas del profesorado tienen sobre los alumnos (Rosenthal y Jacobson 1968).

Por otra parte resulta aparente, como se denuncia en una reciente editorial del *American Journal of Physics* (Rigden 1985), la escasa preocupación del profesorado por estimular el interés hacia la ciencia como vehículo cultural. En efecto, cualquier estudiante universitario puede seguir en EEUU, independientemente de su especialidad, cursos de nivel superior en, p.e., Poesía Moderna, Filosofía de la Historia, Teorías del Conocimiento o Arte Barroco, que le ponen en contacto con estudiantes de Humanidades, en situación favorable para el intercambio: reducido número de alumnos, elevada preparación del profesorado, etc. La situación es dramáticamente diferente para un estudiante de humanidades que, consciente del impacto que la ciencia ha tenido en el pensamiento humano, desee seguir algún curso de ciencias. Le resultará imposible seguir un curso superior sobre, p.e., la Evolución o la Física Relativista, que no conlleve como prerrequisito haber seguido cursos de introducción a la Biología o a la Física que suelen ser rápidas panorámicas con tratamientos casi exclusivamente operativos incapaces de transmitir la fascinación que los científicos pueden aportar a sus materias. De este modo no solo se impide el acceso de los no especialistas, sino que los cursos se vacían de significado y de interés para los propios alumnos de ciencias.

Es preciso concluir así que varios años de progresiva implantación de los estudios científicos no han contribuido a conformar esas «Humanidades Modernas» que reclamaba Langevin.

Puede quizás pensarse que ello es el resultado de una opción necesaria -habida cuenta del insuficiente tiempo disponible- que antepone, a los aspectos culturales, el desarrollo utilitarista de las aptitudes científicas que la sociedad precisa de, al menos, amplias minorías.

2. EL DESARROLLO DE APTITUDES CIENTIFICAS COMO OBJETIVO FUNDAMENTAL

El objetivo fundamental que ha presidido la innovación en la enseñanza de las ciencias durante cerca de tres décadas ha sido, sin duda, la introducción de los métodos de la ciencia, intentando superar una enseñanza tradicionalmente centrada en los contenidos y caracterizada por la ausencia casi total de trabajos experimentales (Dewey 1945).

Se produce así una proliferación de Proyectos basados en el aprendizaje por descubrimiento y en la actividad autónoma de los alumnos.

Sin embargo las propuestas sobre la aplicación del «Método Científico» o sobre la «Enseñanza por descubrimiento» resultan demasiado ambiguas e imprecisas (Keislar y Shulman 1966), incurriendo en visiones simplistas, muy alejadas de la forma en que realmente se elaboran los conocimientos científicos (Rachelson 1977) (Gil 1983), y persistiendo entre el profesorado de ciencias una visión marcada por un empirismo extremo (Giordan 1978) que olvida tanto el papel central que las hipótesis y todo el pensamiento creativo ocupan en el trabajo científico (Hempel 1976), como el carácter social y dirigido de dicho trabajo (en contraste con la orientación que supone la propuesta de «descubrimiento autónomo», individual).

Por último se produce una falta de atención a los contenidos, como respuesta a la situación precedente de predominio casi exclusivo de los mismos y coherentemente con el planteamiento inductivo que se pretende dar al aprendizaje.

Los resultados de más de dos décadas de aplicación de esta orientación quedan reflejados en estas palabras de Ausubel (1978): «Como los términos laboratorio y método científico se volvieron sacrosantos en las preparatorias y universidades norteamericanas, los estudiantes fueron obligados a remedar los aspectos exteriormente conspicuos e inherentemente triviales del método científico (...). En realidad con este procedimiento aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico». Y no se trata, en modo alguno, de una exageración: si nos limitamos al objetivo fundamental de favorecer la adquisición de aptitudes científicas, una detenida evaluación de la enseñanza de las ciencias impartida en EEUU durante el período 1955-1980 llega a la conclusión de que «la mayoría de los cursos no incluyen un sólo experimento en que los estudiante puedan identificar y definir un problema, proponer procedimientos, recoger e interpretar resultados o tomar alguna decisión» (Yager y Penick 1983).

La situación es similar e incluso más grave en lo que se refiere a la resolución de problemas, el otro campo que, junto a los trabajos prácticos, es concebido como ocasión privilegiada para la adquisición y desarrollo de las aptitudes científicas. Como se ha mostrado repetidamente, los alumnos no aprenden a resolver problemas, sino que, a lo sumo, memorizan soluciones explicadas por el profesor como simples ejercicios de aplicación: los alumnos se limitan a «reconocer» problemas que ya han sido resueltos o a abandonar. La gravedad de la situación ha convertido desde hace años la investigación sobre problem-solving en una de las prioridades en el campo de la didáctica de las ciencias (Yager y Kahle 1982). Estas investigaciones muestran hasta que punto la propia didáctica de la resolución utilizada por el profesorado se aleja de las características del trabajo científico, convirtiendo los problemas -es decir, las situaciones para las que no existe de entrada una solución evidente- en ejercicios que el profesor resuelve de forma lineal, sin dudas ni ensayos sobre lo que se busca o el camino a seguir y, a menudo, sin siquiera contrastación e interpretación de resultados (Gil y Mtnez-Torregrosa 1984).

De ningún modo puede, pues, decirse que la enseñanza de las ciencias haya avanzado significativamente en la introducción de los procesos científicos ni favorecido la adquisición de la metodología científica por los alumnos. No pueden aceptarse a este respecto la mayor parte de las propuestas que se autodenominan «aprendizaje por descubrimiento» y que habría que designar, para mayor precisión y evitar confusiones, como «aprendizaje por descubrimiento inductivo, autónomo e incidental» (Gil 1983)

En resumen: si la enseñanza de las ciencias no ha logrado -como hemos visto en el primer apartado de este trabajo- favorecer una actitud positiva hacia las ciencias y convertirse en elemento esencial de una Nueva Humanidades, tampoco ha hecho posible la adquisición por los alumnos de aptitudes científicas. ¿Quizás estos resultados muestren que los objetivos de la enseñanza han de ser más modestos y centrarse en la transmisión de conocimientos para favorecer, al menos, su adquisición significativa, no anecdótica ni memorística?

3. ERRORES CONCEPTUALES Y PRECONCEPTOS: NUEVA CRISIS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Los trabajos centrados en el estudio de ciertos errores conceptuales constituyen, posiblemente, la línea de investigación más pujante en la actualidad en el campo de la didáctica de las ciencias. El impacto de estudios como la tesis doctoral de L. Viennot (1976) ha estado asociado a la puesta en evidencia de que los alumnos poseen ya ideas -preconceptos- acerca de numerosos temas, previamente a recibir enseñanza

escolar sobre los mismos, que presentan una notable resistencia a ser substituidos por las explicaciones científicas proporcionadas por el profesorado. La persistencia de estos preconceptos, incluso en niveles universitarios, se ha convertido así en un índice particularmente relevante de la ineficacia de la enseñanza de las ciencias en lo que se refiere a la adquisición significativa de conocimientos. La sorpresa de ver cómo estudiantes universitarios, después de estudiar reiteradamente la mecánica newtoniana, siguen considerando a las fuerzas como causa del movimiento, ha supuesto un serio aldabonazo. El estudio de los preconceptos, su origen, causas de su persistencia, etc, se ha convertido así, repetimos, en una línea de investigación prioritaria (Mc Dermont 1984) (Driver y Erikson 1983) (Osborne y Wittrock 1983) (Giordan 1985).

Debemos precisar que estos «errores» no constituyen simples distracciones fácilmente subsanables con una llamada de atención, como algún autor ha pretendido (McClelland 1984). Por el contrario, afectan a conceptos clave y son sostenidos con la seguridad que procuran las evidencias de sentido común. Más aún: como hemos tratado de mostrar (Carrascosa y Gil 1985), la existencia de preconceptos está íntimamente ligada a una «metodología de la superficialidad» que conduce a dar respuestas «seguras» y rápidas a partir de generalizaciones acríticas de observaciones cualitativas. Esta metodología de la superficialidad, de lo aparente -que se traduce en certeza, en ausencia de dudas o de consideración de posibles soluciones alternativas-, responde, como ha mostrado Piaget (1971), a las formas de reflexión y actuación cotidianas del niño, que la Escuela, lejos de combatir, estimula con la habitual exigencia de respuestas rápidas, con exámenes que sólo dejan tiempo para reproducir mecánicamente lo transmitido por el profesor, o con los tratamientos faltos de rigor que imponen al propio profesor currícula inabordables.

De este modo se completa la visión de lo que constituye hoy la enseñanza de las ciencias. El panorama que dibujan los resultados de las investigaciones didácticas que hemos resumido es, sin duda, preocupante y pone en cuestión la visión ingenuamente optimista del papel educativo de la enseñanza de las ciencias. Pero al mismo tiempo, las críticas realizadas encierran elementos de reorientación que pueden dar lugar -están dando ya lugar- a indudables progresos y a la recuperación de un cierto optimismo sobre el futuro de la enseñanza de las ciencias.

4. EL FUTURO DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: ALGUNAS IMPLICACIONES POSITIVAS DE LA INVESTIGACION EDUCATIVA

Posiblemente la primera implicación positiva de las investigaciones sobre didáctica de las ciencias sea el haber mostrado la existencia de graves problemas, previamente ignorados, como el relativo a la existencia de preconceptos extraordinariamente resistentes a la acción educativa habitual.

Más importante aún está siendo la comprensión creciente de que las propuestas innovadoras han de desembocar en investigación, es decir, en una actividad que se inserte en el desarrollo de cuerpos coherentes de conocimientos, de verdaderos paradigmas teóricos (Peterson 1979) (Gil 1983), sin lo cual no puede hablarse de tarea científica y se corre el riesgo de perderse en adquisiciones dispersas. Cabe así esperar que el futuro de la enseñanza de las ciencias esté menos sujeto a los vaivenes e infructuosos desarrollos que han caracterizado estas últimas décadas.

Podemos además avanzar ya algunos resultados de la investigación didáctica con implicaciones positivas para la reorientación de la enseñanza. Nos referiremos ahora, brevemente, a algunos de ellos.

4.a. El aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico

Las investigaciones a que hemos hecho referencia (ver apartado 3) sobre la existencia de preconceptos y su resistencia a ser desplazados por los conocimientos científicos, han dado origen a modelos de aprendizaje que coinciden en rechazar la idea de transmisión de conocimientos a alumnos considerados como tábula rasa, característica de la enseñanza tradicional y cuyos resultados negativos han sido puestos en evidencia. Podemos referirnos así al trabajo de Osborne y Wittrock (1983), al modelo constructivista de Driver (1984) y, muy particularmente, al modelo de aprendizaje como cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982).

En nuestra opinión (Gil 1983), la importancia de los esquemas conceptuales de los alumnos y la

necesidad de orientar el aprendizaje como cambio conceptual, apunta a la existencia de un cierto isomorfismo entre el aprendizaje significativo de los conocimientos científicos y el proceso de producción de los mismos. Basta recordar a este respecto la importancia de los paradigmas teóricos como origen y término del trabajo científico en un proceso complejo que incluye eventuales rupturas -cambios revolucionarios- del paradigma vigente en un determinado dominio (Khun 1971). De hecho, los trabajos de epistemología genética de Piaget (1970) han mostrado la semejanza entre la evolución histórica de la Física y la formación de las concepciones intuitivas de los alumnos.

Puede entenderse así, desde este punto de vista, las dificultades de un cambio conceptual equivalente a lo que históricamente ha supuesto una revolución científica. Más aún, este isomorfismo permite comprender que no baste con tener en cuenta las preconcepciones de los alumnos para producir el cambio conceptual, sino que este exigiría también un cambio metodológico en la forma de abordar los problemas (Gil y Carrascosa 1985)

En otras palabras: la principal dificultad para una correcta adquisición de conocimientos científicos no reside en la existencia de conceptos o esquemas conceptuales «alternativos», sino en la metodología que está en su origen. Si los alumnos tienen una visión del comportamiento mecánico de la materia similar al paradigma aristotélico-escolástico, no es por casualidad, sino el resultado de idénticas causas. Y no debe olvidarse que las concepciones aristotélicas sólo fueron desplazadas -después de siglos de vigencia- gracias a un cambio metodológico nada fácil, que vino a superar la tendencia «natural» a generalizar acríticamente a partir de observaciones cualitativas y no controladas, abandonando la seguridad de las evidencias del sentido común y pasando a un pensamiento creativo, abierto, que imagina más posibilidades, a título de hipótesis, para someterlas después a contrastación rigurosa.

Cabe, pues, esperar que igual ocurra con los alumnos: sólo si son puestos reiteradamente en situación de aplicar la nueva metodología -es decir, en situación de plantear problemas precisos, de emitir hipótesis a la luz de sus conocimientos previos, de diseñar experimentos, de analizar cuidadosamente los resultados, ...- llegarán a superar la «metodología de la superficialidad», haciendo posible los profundos cambios conceptuales que la adquisición de los conocimientos científicos exige.

Se comprende así la necesidad de un serio esfuerzo para introducir la metodología científica en clase, incluso si el objetivo perseguido es únicamente la adquisición significativa de conocimientos. Una metodología científica que tiene poco en común, como ya hemos señalado, con los planteamientos inductivistas que han caracterizado al denominado aprendizaje por descubrimiento (inductivo, autónomo e incidental). En este sentido hemos realizado algunos intentos que van desde la transformación de los trabajos prácticos (Gené y Gil 1982) (Gil y Payá 1984) o la resolución de problemas (Gil y Mtnéz-Torregrosa 1983), a la misma introducción de conceptos (Gil 1982). Y aunque se precisan períodos relativamente largos para poder concluir sobre la validez de las orientaciones adoptadas (¡los cambios metodológicos *no* son en absoluto fáciles!), los resultados hasta aquí obtenidos (Carrascosa y Gil 1985b) (Gené y Gil 1985) (Gil y Mtnéz-Torregrosa 1985) son muy positivos y refuerzan nuestra creencia de que la mejora en el aprendizaje de las ciencias precisa estrategias de enseñanza que tomen en consideración los conocimientos y hábitos previos de los alumnos y se orienten hacia la producción de cambios conceptuales y metodológicos.

Llamamos la atención sobre el hecho de que la adquisición significativa de conocimientos y la familiarización con la metodología científica aparecen, según esto, íntimamente ligadas. así pues, la prioridad casi exclusiva que la enseñanza tradicional pone en los contenidos, o que el aprendizaje por descubrimiento inductivo pone en los procesos científicos, no permite ni siquiera alcanzar los objetivos parciales que se marcan. En efecto, como hemos visto, sin cambio metodológico no puede haber cambio conceptual, adquisición significativa de conocimientos. Y, por otra parte, los procesos científicos sólo tienen sentido en el marco de esquemas conceptuales (o paradigmas teóricos) como punto de partida y término. Sin atención a los contenidos, la metodología científica queda falseada, no es tal.

Con la orientación que hemos intentado fundamentar, el aprendizaje de las ciencias puede, pensamos, mejorar sensiblemente. Y así parecen mostrarlo los resultados que se están obteniendo. Pero sigue en pie la cuestión esencial de como favorecer una actitud positiva hacia la ciencia y su aprendizaje.

4.b. Las ciencias y su aprendizaje como aventura

La falta de interés por las ciencias es un hecho bien establecido, sobre cuya extensión y gravedad (Schibeci 1984) ya hemos hecho referencia como punto de partida de este trabajo. Una falta de interés y una actitud negativa crecientes, que no se han visto alterados con los intentos de transformación del curriculum en el sentido de romper la estructura disciplinar y ofrecer unas ciencias integradas en torno a lo que se han considerado posibles «centros de interés» de los alumnos.

Es preciso detenerse aquí en el análisis de lo que suponen las propuestas de enseñanza integrada de las ciencias, presentadas a menudo como forma de conectar con los intereses de los alumnos. Son bien conocidos los argumentos utilizados -aparentemente razonables y, sin duda, sugestivos- según los cuales la «Realidad es Una» las asignaturas vienen a romper artificialmente dicha unidad, a compartimentarla. Pero en nuestra opinión se trata de argumentos incorrectos -cuando se pretende utilizarlos más allá de los niveles iniciales de enseñanza- que ignoran la naturaleza misma de la metodología científica. Porque el aborde científico de la realidad ha de ser necesariamente analítico, preciso, y las diferentes ciencias -a las que corresponden las distintas disciplinas escolares- tienen una coherencia interna, una estructura que define las necesarias relaciones entre los conceptos (Host 1978), que una enseñanza integrada falsea.

Cada ciencia, cada cuerpo teórico de conocimientos, supone un nivel de aproximación a la realidad que sin duda es una, pero una unidad estructurada en niveles de organización dotados de leyes propias en cada nivel. Ciertamente es, por ejemplo, que todas las sustancias están constituidas por átomos y que las leyes físicas son omnipresentes; pero no basta con ellas para comprender el mundo de los seres vivos, que es un nivel más complejo, con leyes propias. Esconder esto, colocar al mismo nivel un aborde físico, químico, biológico, .. de la realidad, mediante un tratamiento simultáneo de los diferentes aspectos, conduce a una visión confusa, empobrecida y equívoca de esta realidad.

Sin duda es necesario una mayor conexión entre las diversas disciplinas, entre las diversas formas de abordar la realidad, y mostrar que, en la medida misma que las diferentes ciencias se desarrollan y profundizan, emerge la unidad de toda la materia. Pero ello no debe conducir a una visión mágica, inevitablemente confusa y superficial, que puede tener interés como aproximación inicial, pero con la que es preciso romper. Lo contrario, insistimos, es proporcionar una visión falsa, amén de provocar una actitud de superficialidad que está en las antípodas de la actividad científica. Dicho de otro modo, la enseñanza integrada de las ciencias no puede sino estimular la «metodología de la superficialidad» y oponerse al cambio conceptual y metodológico, sin el cual, como hemos tratado de mostrar, no hay aprendizaje significativo ni familiarización con la metodología científica.

Por otra parte, las propuestas de ciencia integrada aparecen habitualmente solidarias de la idea de «centros de interés» -relacionados con la vida cotidiana, etc- y reflexiones sobre el escaso interés que para los alumnos puede tener el estudio de materias «abstractas y puramente formales» como Mecánica, Calor, etc. La crítica puede considerarse justa si se refiere a la forma en que la enseñanza habitual presenta estas materias. Pero ¿cómo aceptar que el nacimiento de, p.e., la Mecánica, sea una materia abstracta, puramente formal? Basta asomarse a la historia de esta ciencia, leer a Galileo, para darse cuenta del carácter de verdadera aventura -en la que no han faltado ni persecuciones ni condenas-, de lucha apasionada y apasionante por la libertad de pensamiento, etc, que el desarrollo de las ciencias ha tenido. La cuestión está, precisamente, en recuperar estos aspectos históricos, de interacción ciencia/sociedad, y romper con una tradición empeñada (con éxito) en convertir la enseñanza de las ciencias en pura transmisión dogmática de conocimientos.

La potencialidad motivadora de un aprendizaje de las ciencias así orientado es muy elevada (Holton et Al 1982) y contribuye, además, a dar una visión más real, contextualizada, de lo que es el desarrollo científico. Se puede así, por otra parte, salir al paso de un creciente rechazo de la actividad científica. Un rechazo que confunde la ciencia con las consecuencias más negativas del desarrollo social y político (destrucción del medio, carrera armamentista, ..).

La discusión del papel social de la ciencia, del mito de la neutralidad del científico, etc, pueden contribuir a devolver al aprendizaje de las ciencias la vitalidad que el propio desarrollo científico tiene. Pero el aprendizaje de las ciencias puede y debe ser también una aventura en un sentido más profundo: la aventura

que supone enfrentarse a problemas abiertos, la búsqueda de soluciones, la constatación de que las propias ideas tienen la validez (¡y los errores!) de las de los científicos, etc. El problema del interés por las ciencias se encuentra así con el de las formas de enseñanza. Estamos convencidos -aunque sea mucho lo que hay que investigar todavía en este campo- de que un aprendizaje concebido como actividad abierta, creativa, con las características propias del trabajo científico, puede despertar un interés real y profundo por la ciencia.

Estas son, en nuestra opinión, algunas vías para abordar el grave problema de una actitud hacia la ciencia y su aprendizaje marcada por el desinterés, cuando no por el rechazo. En cierto sentido podría decirse que se trata de desarrollar un modelo de aprendizaje concebido como actividad abierta, como investigación dirigida, y orientado a producir un cambio no sólo conceptual y metodológico, sino también, y sobre todo, «actitudinal»

5. EL PAPEL DEL PROFESOR

Hemos dejado para último lugar la consideración de un factor esencial en la renovación de la enseñanza: el de la formación del profesorado. Toda la literatura sobre el tema coincide en mostrar el papel determinante de la actividad y actitud del profesor.

Ya hemos hecho referencia al trabajo de Rosenthal y Jacobson (1968) que, junto a muchos otros, muestra hasta que punto las simples expectativas positivas del profesor sobre unos alumnos se traducen -a través de la atención y ayuda que ello genera- en una sensible y objetiva mejora de los resultados de los alumnos. También es conocido el llamado efecto Hawthorn, consistente en que los resultados de grupos experimentales en los que se ensaya alguna innovación, son significativamente mejores que los de grupos de control. Esto es contemplado a menudo como una causa de error sistemático en las investigaciones (Hayman 1981), pero es también -y en nuestra opinión, ante todo- un índice del efecto positivo que tiene sobre el aprendizaje el interés del profesor implicado (y el de los mismos alumnos si conocen que están participando en una investigación).

Pero no basta con constatar que las clases de profesores motivados e interesados por su materia y por los alumnos funcionan mejor. La cuestión clave es cómo generar esa motivación, dado que la falta de profesores con la cualificación y la motivación necesarias sigue siendo la tónica en cualquier materia (Ashman 1985). Por ello los estudios sobre actitudes de los alumnos ante la ciencia tienden cada vez más a completarse con estudios sobre la actitud de los profesores. La consideración del mencionado efecto Hawthorn ofrece ya elementos de respuesta: la participación del profesor en tareas de investigación se traduce sistemáticamente en un mayor interés por su trabajo y consiguientemente en mejores resultados. Dicho de otro modo: la transformación de la labor docente en actividad que tenga, en una cierta medida, las características del trabajo científico, puede conferir al trabajo del profesor un interés fácilmente explicable, permitiéndole romper con un aislamiento que le hace dependiente del libro de texto y le condena a la simple transmisión verbal.

Referirse al carácter de investigación científica que puede adquirir la labor del profesor no es, pensamos, exageración alguna: no se trata simplemente de adoptar una actitud favorable a la participación de los alumnos, sino de todo un trabajo colectivo de cuidadosa preparación de *actividades concretas* que tengan en cuenta las ideas previas de los alumnos, los aspectos esenciales de la metodología científica, la coherencia del hilo conductor, etc, etc. Ello constituye lo que hemos denominado un *programa-guía de actividades* (Gil 1982). Sin esta preparación se olvidan con facilidad aspectos esenciales del aprendizaje y domina inevitablemente la improvisación del profesor, es decir, su propia actividad.

Como vemos, una posible vía de solución al problema de la falta de motivación de muchos profesores es similar a la que se contempla para los propios alumnos: implicación en tareas abiertas, de investigación. Y cabe pensar que igualmente serán válidas para el profesorado las restantes propuestas hechas para los alumnos: consideración del desarrollo histórico de la ciencia, con su indudable dramatismo, discusión del papel social de la ciencia, etc. Estos son aspectos que, junto con la iniciación a la investigación didáctica, deberían contemplarse -cosa que hoy no sucede- en la formación del profesorado.

Es preciso, además, tener presente que, cuando se plantea la formación didáctica de un futuro profesor, no se parte nunca de cero, sino que ya ha recibido una larga preparación didáctica implícita, «ambiental», durante los años en que fue alumno. Una preparación que le impregnó, a menudo en forma de hábitos inconscientes, y con la que será necesario romper. La formación del profesorado se plantea así -al igual que la de los alumnos- como cambio metodológico, actitudinal y didáctico (Carrascosa, Furió y Gil 1985).

Los distintos aspectos del proceso enseñanza/aprendizaje de las ciencias que hemos ido abordando parecen reforzarse mutuamente y configurar un paradigma coherente, con características similares al propio proceso de producción de conocimientos científicos (Gil 1983). Esta es, por supuesto, nuestra particular visión, que consideramos fundamentada, pero que sería abusivo presentar como una orientación mayoritariamente aceptada. Afortunadamente, quizás, en la enseñanza de las ciencias casi todo está aún por decir.

NOTA: Las ideas expuestas hasta aquí en este capítulo no van dirigidas, obviamente, a los alumnos; sin embargo, consideramos esencial que algunas de estas cuestiones y, en particular, las relativas a las actitudes hacia el aprendizaje de las ciencias, sean abordadas detenidamente con los alumnos desde el comienzo del curso. Con este objeto, el libro del alumno contiene un primer capítulo que reproducimos a continuación como apartado 6.

6. EN DONDE SE INVITA A LOS ALUMNOS A PREGUNTARSE SI NO TIENEN NADA MEJOR QUE HACER QUE SEGUIR UN CURSO DE FISICA Y QUIMICA COMO ESTE

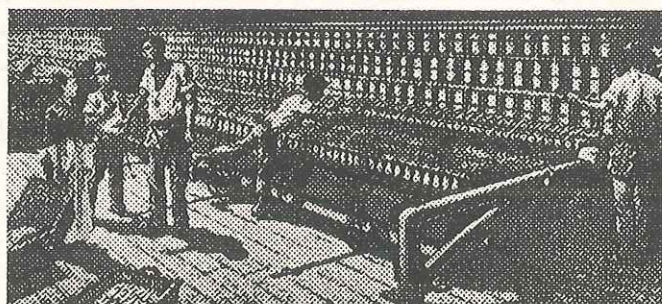
Cualquier libro de texto suele incluir una breve introducción o prólogo que raramente los alumnos suelen leer... ni, en realidad, nadie espera que lo hagan. Esta es, sin embargo, una introducción diferente para un libro diferente, y su contenido es, en opinión de los autores, quizás más importante que el del resto del libro. Por eso le hemos dado categoría de capítulos (1 y 2) y encarecemos su lectura y discusión.

Creemos, en efecto, que antes de iniciar una tarea, es esencial plantearse el por qué y el cómo de la misma, sin dejarse llevar por la nariz. Eso es lo que os invitamos a hacer aquí, cuando vais a iniciar el primer curso realmente serio de Física y Química. Tal vez no encuentres otra razón para su estudio que la imposibilidad de escapar hacia tus particulares Mares del Sur; pero es posible también que llegues a otras respuestas y que ello transforme tu actitud de resistencia pasiva (¡tan aburrida!) en otra de búsqueda consciente de determinadas satisfacciones.

¿Satisfacciones? ¿Qué tendrá que ver el estudio con la satisfacción? ¿Acaso no está bastante claro que la función del estudio es la de una barrera, una dificultad a superar?. Al «ganarás el pan con el sudor de tu frente» (es decir, con el trabajo), las sociedades modernas parecen haber añadido «y ganaras el trabajo con el sudor de tu estudio». O sea, el estudio como obligación y el estudio de las ciencias como «más de lo mismo». That's all folks!, como diría Bugs Bunny.

Enseñemos ya las cartas: nuestra intención es introducir alguna duda en esas «evidencias» y permitirnos construir vuestra propia respuesta. Vamos a ello.

6.a. Prohibido estudiar



El grabado que estás contemplando es una imagen fiel de la vida de los niños en la Inglaterra del Siglo XIX, cuando estudiar no era aún un «castigo» generalizado, sino que, muy al contrario, estaba simplemente prohibido. Vale la pena leer el documento que transcribimos a continuación, presentado por el Presidente de la Royal Society en 1807, para oponerse (con éxito) a la creación de escuelas elementales en todo el país:

«En teoría, el proyecto de dar una educación a las clases trabajadoras es ya bastante equívoco, y, en la práctica, sería perjudicial para su moral y su felicidad. Enseñaría a las gentes del pueblo a despreciar su posición en la vida en vez de hacer de ellos buenos servidores en agricultura y en los otros empleos a los que les ha destinado su posición. En vez de enseñarles subordinación les haría facciosos y rebeldes, como se ha visto en algunos condados industrializados. Podrían entonces leer panfletos sediciosos, libros peligrosos y publicaciones contra la cristiandad. Les haría insolentes ante sus superiores; en pocos años, el resultado sería que el gobierno tendría que utilizar la fuerza contra ellos.»

¿Qué os sugiere este documento? Interrumpid aquí la lectura, formulad vuestras respuestas (o vuestras preguntas) y discutirlas: empleamos tanto tiempo en el estudio, que bien merece que dedicamos unos minutos a pensar libremente en por qué lo hacemos. (.....)

¿Y que pensamos nosotros, los autores de este libro? Pues más o menos lo mismo que vosotros (¡esperamos!): que no es verdad que el estudio haya arrancado a los niños del mundo feliz del juego y del placer, sino de las garras de la explotación más salvaje; del tedio de las 12 horas bajo la mina (o haciendo girar una noria, o practicando la mendicidad); del embrutecimiento, con el hambre como mayor estímulo.

Perdonad este ramalazo panfletario, pero quien piense que exageramos demasiado que se de una vuelta por Africa o América del Sur, donde muchos, muchos niños, siguen sin poder estudiar. El sistema escolar generalizado aparece así como una conquista tardía en nuestra sociedad. Una conquista, además, muy limitada, que para gran parte de la humanidad sigue siendo una asignatura pendiente. Y si de la enseñanza en general pasamos a la enseñanza de las ciencias, puede decirse que su introducción apenas ha empezado. En efecto, en la primera mitad de este siglo, las ciencias aún no formaban parte de los planes de estudio en la enseñanza primaria y media, y su introducción era reclamada por científicos y educadores. Así, en 1926, el gran científico francés Paul Langevin, escribía:

«En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y en la afirmación de los Derechos del Hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general...»

Las palabras de Paul Langevin y de tantos otros nos indican, por una parte, que las ciencias estaban ausentes de los planes de estudio hasta hace relativamente poco; y, por otra, muestran el alto valor educativo atribuido a su estudio, derivado del impacto de las ciencias sobre el pensamiento y la vida de los hombres. No en balde, se señala, la historia de las ciencias ha sido solidaria del movimiento revolucionario en la lucha contra el dogmatismo y por el progreso. Una visión excesivamente optimista, quizás; pero resulta indudable que las ciencias, en menos de cuatro siglos, han hecho cambiar -para bien o para mal- el pensamiento y la vida de los hombres más que los miles y miles de años que la precedieron.

Podemos concluir que estudiar ciencias es un reciente y escasamente generalizado privilegio. Y, sin embargo, es evidente que ese estudio está lejos de producir entusiasmo en la mayoría de los alumnos. Durante las últimas décadas, la enseñanza de las ciencias se ha generalizado en las sociedades desarrolladas, pero ello no se ha traducido -como esperaban Langevin y tantos otros- en mayor satisfacción para los alumnos, sino en un creciente rechazo hacia el estudio de las ciencias y hacia las ciencias mismas. Conviene preguntarse por qué y, sobre todo, averiguar si ello es inevitable o puede ser modificado. Quizás, después de todo, fue innecesario que los poderosos se opusieran tanto tiempo a que los jóvenes estudiaran, puesto que ellos mismos iban a rechazarlo.

6.b. Mirando hacia atrás con ira

Numerosas investigaciones realizadas estos últimos años han mostrado que el interés de los alumnos por las ciencias decrece notablemente con los años de escolarización; es decir, que cuanto más se les enseña ciencias, más negativa se vuelve su actitud. Este es, sin duda, un hecho enormemente preocupante y que parece echar por tierra todas las esperanzas en el valor educativo de las ciencias. Es preciso, sin embargo,

mirar más de cerca, antes de sacar conclusiones sobre la inevitabilidad de este resultado. En efecto, las mismas investigaciones han mostrado que los alumnos de algunos centros o de algunas clases tienen actitudes francamente positivas hacia el aprendizaje de las ciencias. Y, lo que es más importante, la enseñanza que se proporciona en esas «islas», presenta características semejantes que contrastan con las de la enseñanza habitual. No vamos a describir aquí detalladamente dichas características, pero nos referiremos a algunas de ellas a título de ejemplo:

- Mencionaremos en primer lugar la importancia dada a las relaciones ciencia/técnica/sociedad, sin olvidar sus aspectos más conflictivos, tanto históricos como actuales: las condenas, por ejemplo, de los trabajos de Copérnico, Galileo, Darwin y tantos otros; las implicaciones de ciertos desarrollos científico/técnicos como el uso de la energía nuclear, etc.
- La importancia dada a los tratamientos cualitativos, que no se reduzcan a compendios de hechos y fórmulas. Coincide esto con la opinión generalizada de los propios científicos: como decía Albert Einstein, «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 expuestos con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas vienen después».
- La importancia dada a que los alumnos elaboren sus propias explicaciones y verifiquen la validez de las mismas, rompiendo con las actividades «receta» que habitualmente se hacen en los laboratorios (cuando se hace algo... que no es lo más frecuente).

Estas y otras características parecen contribuir a presentar una ciencia viva, conflictiva, incluso apasionante, aproximando el aprendizaje a una verdadera aventura. No es esto, sin duda, lo más habitual; y no es extraño que la respuesta a una enseñanza en que esas características están ausentes -y en la que el acento se pone casi exclusivamente en la transmisión de una información dogmática, reducida a fórmulas abstractas, produzca un rechazo generalizado.

No es este el lugar de analizar las causas de esta situación, de esta deformación de lo que es la ciencia en la enseñanza habitual. Pero sí queremos afirmar rotundamente que ello no es inevitable, que es posible -y existe suficiente evidencia al respecto- otro resultado. En ello inciden muchos factores, pero uno de los fundamentales es el que representan las expectativas de los alumnos, su propia voluntad por superar (aun a costa de algunas dosis de ira necesaria) la pasiva aceptación de una información incapaz de apasionar. Romper con dicha actitud, rechazar el papel de simple comparsa, está, en parte, en manos de los alumnos. Pero ello exige otra forma de trabajo en la clase, un «contrato» distinto entre profesores y alumnos.

Este libro (o lo que sea, pues, como verás, no es exactamente un libro de texto) pretende facilitar el nuevo pacto. Dedicaremos el segundo capítulo a dar una primera visión de la forma de trabajo que se propone. Aquí terminaremos formulando algunas preguntas sobre las que valdría la pena reflexionar antes de seguir. Por ejemplo:

¿Qué habría que evitar?. Es decir, ¿qué aspectos de los cursos de ciencias seguidos precedentemente no os gustaría ver reproducidos? y ¿cuales desearíais encontrar?

Y también:

¿Cuál es vuestra idea de lo que es la ciencia y de lo que es un científico?

¿Merece la pena que un ciudadano dedique parte de su tiempo a adquirir una cierta formación científica?

¿Cuál es vuestra visión de las relaciones ciencia/sociedad?

No dudéis (ni vosotros ni vuestro profesor) en dedicar el tiempo necesario a clarificar estas y otras cuestiones que os podáis formular: el «programa» puede esperar. O, mejor dicho, quizás lo esencial del programa sea contribuir a generar una actitud positiva -críticamente interesada- hacia el aprendizaje de las ciencias. Y ello exige sacudir la inercia del estudio de un tema tras otro... sin saber muy bien hacia donde se va.

LOS PROGRAMAS-GUIA DE ACTIVIDADES: UNA CONCRECIÓN DEL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Los apartados 1 a 6 de este capítulo están basados en el artículo de igual título de Gil Pérez y Mtnez-Torregrosa, publicado en *Investigación en la Escuela*, 3, 3-12 (1987). El apartado 7 reproduce el capítulo 2 del libro del alumno.

INTRODUCCION

Hace ya más de 10 años, en una breve nota titulada «De una pedagogía activa a una pedagogía de las actividades concretas» (Gil 1975), planteábamos la necesidad de superar la idea vaga de «enseñanza activa» y de programar el desarrollo de las clases diseñando actividades concretas. «La idea básica - precisábamos (Furió y Gil 1978)- es que el desarrollo del tema ha de programarse a base de actividades a realizar por los alumnos, constituyendo lo que podríamos denominar un programa-guía. Con estas actividades se trata, en la medida de lo posible, de colocar a los alumnos en situación de producir conocimientos, de explorar alternativas, superando la mera asimilación de conocimientos ya elaborados».

Estas propuestas han tenido una cierta incidencia y han sido recogidas por algunos grupos, fundamentalmente de Física y Química. Mientras tanto se ha producido un notable desarrollo de la investigación en la didáctica de las ciencias y parece conveniente revisar las propuestas didácticas que fundamentan la idea de los programas-guía de actividades a la luz de dicha investigación. Este es, precisamente, el objetivo del trabajo que aquí presentamos. No intentaremos, sin embargo, fundamentar aquí el modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias, remitiéndonos para ello a trabajos anteriores (Gil 1983, 1985 y 1986) y, por supuesto a la amplísima bibliografía aparecida al respecto (Posner et Al 1982; Osborn y Wittrock 1985; Gil y Carrascosa 1985; Driver 1986; Hashweh 1986; Driver y Oldham 1986; Novak 1986; Cañal y Porlan 1987; Millar y Driver 1987; Novak 1987). Como índice de la actual pujanza de las orientaciones constructivistas pueden consultarse las actas del «Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics» organizado por J.D. Novak en la Universidad de Cornell en julio de 1987.

Centraremos este trabajo en el abordaje de algunas cuestiones que -a lo largo de un elevado número de cursos y seminarios para profesores en activo y en formación se han formulado reiteradamente. Concretamente:

- ¿por qué orientar el aprendizaje como construcción de conocimientos?
- ¿es imaginable que los alumnos puedan construir los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron a los científicos más creativos?
- ¿por qué *Programas-guía*?
- ¿cómo utilizar los programas-guía?
- ¿cómo elaborar los programas-guía? y, a modo de conclusión,
- ¿qué inconvenientes puede presentar el uso de programas-guía?

1. ¿POR QUE ORIENTAR EL APRENDIZAJE COMO CONSTRUCCION DE CONOCIMIENTOS?

Responder adecuadamente esta cuestión supondría tanto como fundamentar el modelo constructivista. Más aún, exigiría también mostrar la ineficacia de las propuestas alternativas. No es este, por supuesto, el lugar para ello, por lo que nos limitaremos a algunas breves consideraciones acerca de las orientaciones que, explícita o implícitamente, se oponen al modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias.

Nos referiremos en primer lugar a la corriente que pone el acento en la familiarización con «los procesos de la ciencia» y rechaza el valor de la adquisición de conocimientos, dado su carácter siempre transitorio, el esfuerzo memorístico que implica, etc. Millar y Driver (1987), tras documentar la influencia creciente que esta corriente ha adquirido en el Reino Unido, han puesto de relieve los graves errores epistemológicos, psicológicos y didácticos que subyacen en esta orientación. El trabajo de Millar y Driver constituye un detenido análisis crítico de los supuestos subyacentes en la propuesta de centrar el aprendizaje en los procesos de la ciencia. Los autores comienzan por sintetizar estos supuestos que, básicamente, serían:

- los procesos de la ciencia son identificables y caracterizan la forma en que los científicos trabajan,
- esos procesos son independientes de los contenidos y
- el conocimiento científico se obtiene inductivamente a partir de experiencias sensibles, en las que los «procesos» juegan el papel central

A continuación, y desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia, Millar y Driver muestran la inexistencia de lo que se denomina «El Método Científico», del que «los procesos de la ciencia» serían una descripción operativizada. Más aún, los autores argumentan que ni siquiera puede hablarse de la observación, clasificación, etc, como de actividades que -sin formar parte de un algoritmo rígido- constituyan aspectos relevantes y distintivos de la actividad científica. Así, refiriéndose a la observación, Millar y Driver señalan, por una parte, que la observación es una actividad cotidiana que los niños y adultos realizan continuamente y que no tiene mucho sentido organizar el aprendizaje de algo tan común. Por otra parte recuerdan la evidencia acumulada que muestra cómo las observaciones científicas vienen determinadas por el marco teórico de quien observa, por lo que en ningún caso se puede considerar la observación como una habilidad científica general, independiente de los contenidos.

Una segunda perspectiva crítica está basada en la psicología cognoscitiva. Desde dicha perspectiva, los autores señalan la importancia de las concepciones previas de los alumnos y ponen en evidencia que la visión empirista de la adquisición de conocimientos a partir de observaciones, clasificaciones, inferencias y experimentos, no corresponde en absoluto a la forma en que los alumnos aprenden.

En tercer lugar, Millar y Driver se refieren a la imposibilidad de enseñar habilidades tales como la observación, etc, en un contexto independiente de los contenidos.

Esta crítica de una enseñanza/aprendizaje de las ciencias centrada en los procesos, la extienden también, lógicamente, al «aprendizaje por descubrimiento», que es descrito por los autores como un intento de acoplar el aprendizaje de los procesos con el de unos ciertos conocimientos «descubiertos» gracias, precisamente, al uso de los procesos.

Toda esta crítica coincide básicamente con la realizada precedentemente por otros autores como Ausubel (1978) y Hodson (1985). Precisamente, en ambos autores encontramos un segundo tipo de argumentación en contra del modelo constructivista. En efecto, ambos coinciden en derivar de su fundamentado rechazo del aprendizaje por descubrimiento, propuestas más o menos explícitas de retornar al modelo de aprendizaje por recepción de conocimientos ya elaborados. Así, según Hodson, el principal objetivo de la enseñanza de las ciencias es que los alumnos aprendan las teorías vigentes y sepan aplicarlas a los fenómenos adecuados en las situaciones apropiadas. Se trata, en definitiva, de *aprender* ciencia, no de (re)hacerla.

Sin embargo, estas propuestas -pese a las indudables mejoras introducidas por Ausubel en el modelo de aprendizaje por recepción (Ausubel 1978; Novak 1979)- no han dado solución a los principales problemas del aprendizaje de las ciencias, como ha mostrado claramente la línea de investigación que, partiendo de la constatación de graves errores conceptuales -y persistentes tras una enseñanza reiterada- ha evolucionado hacia el estudio del papel de las ideas intuitivas de los alumnos en el aprendizaje de los conocimientos científicos (Driver 1986). Por ello no puede aceptarse que la solución a los problemas planteados por una concepción inductivista de la ciencia y de su aprendizaje sea el retorno al modelo de transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados (Gil 1983). Como Millar y Driver (1987) señalan, «No consideramos que la alternativa a la orientación centrada en los procesos sea la vuelta a la transmisión de conocimientos, ni tampoco el aprendizaje por descubrimiento. Por el contrario, sugerimos que deben tomarse en consideración perspectivas alternativas que reflejen mejor nuestra comprensión del proceso de aprendizaje y de la ciencia

como actividad humana. Actualmente están desarrollándose intentos de diseñar el currículum de ciencias en esa dirección (...) Tales intentos contemplan el aprendizaje como una construcción personal y social más que como algo objetivo que se descubre (...) El estudiante es visto como alguien activamente implicado en la construcción de significado, aportando sus concepciones previas a la interpretación de nuevas situaciones. El aprendizaje tiene lugar mediante la interacción de las ideas de los niños con la experiencia y con las ideas de los otros, modificándose así las propias ideas, que se amplían o experimentan cambios más o menos profundos durante el proceso; y el currículum es contemplado como un conjunto de situaciones de aprendizaje que lo hacen posible».

El modelo emergente de aprendizaje de las ciencias aparece así contrapuesto, a la vez, al de «recepción» de conocimientos y al de «descubrimiento» o centrado en los procesos de la ciencia. Conviene puntualizar que, aunque la actual emergencia del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias pueda asociarse a la línea de investigación centrada en los preconceptos de los alumnos (Posner et Al 1982; Osborne y Wittrock 1985; Gil y Carrascosa 1985; Driver y Oldham 1986; Hashweh 1986), en él se integran coherentemente aportaciones muy diversas -Bachelard (1938), Piaget (1970), Vigotsky (1973), Kelly (Pope y Gilbert 1981)...- lo que, sin duda, refuerza su validez.

Insistimos de nuevo, para terminar, en que no es posible proceder aquí a la exposición y justificación del modelo constructivista. Hemos querido tan sólo referirnos a dos de las corrientes que aparecen hoy como alternativas a dicho modelo e indicar brevemente algunas de sus limitaciones.

2. ¿ES POSIBLE QUE LOS ALUMNOS CONSTRUYAN LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS?

«No tiene sentido -se suele afirmar- suponer que los alumnos, *por si solos* (?) puedan construir *todos* (?) los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron de los más relevantes científicos». Esta y parecidas críticas se repiten una y otra vez. Sin embargo la crítica es inconsistente con lo que sabemos sobre la naturaleza del trabajo científico. En efecto, es bien sabido que cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores, rápidamente puede alcanzar el nivel del resto del equipo. Y ello *no* mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/formadores son expertos. La situación cambia, por supuesto, cuando se abordan problemas que son nuevos para todos. El avance -si lo hay- se hace entonces lento y sinuoso. La propuesta de organizar el aprendizaje de los alumnos como una construcción de conocimientos, responde a la primera de las situaciones, es decir, a la de una investigación dirigida, en dominios perfectamente conocidos por el «director de investigaciones» (profesor) y en la que los resultados parciales, embrionarios, obtenidos por los alumnos, pueden ser reforzados, matizados o puestos en cuestión, por los obtenidos por los científicos que les han precedido.

No se trata, pues, de «engañar» a los alumnos, de hacerles creer que los conocimientos se construyen con la aparente facilidad con que ellos los adquieren, sino de colocarles en una situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación, y durante la que podrán familiarizarse mínimamente con lo que es el trabajo científico y sus resultados, replicando para ello investigaciones ya realizadas por otros, abordando, en definitiva, problemas conocidos por quienes dirigen su trabajo.

La idea del programa-guía de actividades responde a este principio de trabajo de investigación dirigida. Un trabajo de investigación en el que constantemente se cotejan los resultados de los distintos equipos y se cuenta con la inestimable ayuda de un auténtico experto. En este sentido estamos totalmente de acuerdo con Pozo (1987) cuando afirma que «de lo que se trata es que el alumno construya su propia ciencia *subido a hombros de gigantes* y no de un modo autista, ajeno al propio progreso del conocimiento científico». No pensamos, sin embargo que ello se favorezca con «la integración de la enseñanza por descubrimiento y de la enseñanza receptiva» (Pozo 1987), sino mediante un trabajo colectivo de investigación dirigida, tan alejado del descubrimiento autónomo como de la transmisión de conocimientos ya elaborados (Gil 1983; Millar y Driver 1987).

3. ¿POR QUE PROGRAMAS-GUIA?

La cuestión de por qué elaborar programas-guía surge a menudo entre quienes, estando de acuerdo con las orientaciones constructivistas, conciben la construcción de conocimientos como algo más flexible

y abierto, menos dirigido por actividades programadas con antelación.

Como ya hemos señalado en la introducción, la idea básica que subyace en la elaboración de los programas-guía es favorecer que, a través de las actividades, los alumnos puedan construir y afianzar conocimientos, al tiempo que se familiarizan con algunas características del trabajo científico. Pero ello exige que el conjunto de actividades posean una lógica interna que evite aprendizajes desconexos y procesos excesivamente erráticos. Dicho de otro modo, ello exige que las actividades estén cuidadosamente estudiadas para cubrir el contenido del tema objeto de estudio. No puede, pues, pensarse en actividades sueltas ni en una completa improvisación, sino en un verdadero *programa* que pueda orientar y prever el trabajo de los alumnos.

Por otra parte, aunque existe el peligro de que un programa se convierta en una camisa de fuerza - en la medida en que las actividades no hayan sido correctamente diseñadas para prever el proceso del trabajo de los alumnos-, el peligro de una falta de programación previa es sucumbir a la improvisación...del profesor, es decir, recaer en la actividad del profesor como característica esencial.

Cabe señalar además, que esta idea de programa-guía de actividades, que fue introducida por nosotros hace ya una década (Furió y Gil 1978; Gil 1982) -y que se ha traducido en la preparación de abundantes materiales (Furió et Al 1979; Gil et Al 1979; Calatayud et Al 1986; Calatayud et Al 1987)- ha recibido un importante apoyo en un reciente trabajo de Driver y Oldham (1986), quienes llegan a afirmar que quizás la más importante implicación del modelo constructivista en el diseño del curriculum sea «no concebir el curriculum como un conjunto de conocimientos y habilidades, sino como *el programa de actividades* a través de las cuales dichos conocimientos y habilidades pueden ser construidos y adquiridos».

4. ¿COMO UTILIZAR LOS PROGRAMAS-GUIA?

La utilización de los programas-guía está presidida por la idea de favorecer un trabajo colectivo en el doble sentido de estructurar la clase en pequeños grupos que van abordando las sucesivas actividades y de potenciar los intercambios entre dichos grupos.

No creemos necesario recordar aquí los bien conocidos y documentados argumentos en favor del trabajo en pequeños grupos como forma de incrementar el nivel de participación y la creatividad necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas (Ausubel 1978; Solomon 1987; Linn 1987), como indudablemente son las concebidas para posibilitar la construcción de conocimientos. Sí queremos insistir, por el contrario, en la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos, a través de la cual los alumnos pueden asomarse a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de cotejarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia convergente para que la comunidad científica los acepte. Nunca se insistirá bastante, en efecto, en que, por ejemplo, unos pocos resultados experimentales como los que se pueden obtener en un laboratorio escolar no permiten hablar de verificación de hipótesis (Hodson 1985); de ahí la importancia de los intercambios inter-grupos y la participación del profesor como «portavoz de otros muchos investigadores» (es decir, de lo que la comunidad científica ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso). Por ello, la forma de trabajo que proponemos para las clases difiere de la que es habitual en las clases organizadas en pequeños grupos, consistente en proponer tareas de una cierta extensión que cada grupo elabora autónomamente -con ocasionales ayudas que puede solicitar del profesor- para pasar a una puesta en común posterior, al término del trabajo. Este sistema presenta, en nuestra opinión, serios inconvenientes como son:

- Ruptura de la unidad de la clase, debido a las diferencias de ritmo en el trabajo de los grupos, lo que se traduce, si las tareas son extensas, en desfases considerables, difíciles de recuperar.
- Peligro de desorientación de los alumnos, dado que algunas actividades suponen la correcta realización de las anteriores.
- Imposibilidad de que el profesor satisfaga las peticiones de ayuda de los pequeños grupos, que suelen solicitarse simultáneamente sobre aspectos diferentes.

Todas estas dificultades -y, sobre todo, la razón básica que hemos fundamentado más arriba, de posibilitar un continuo intercambio entre los grupos- nos han llevado a una forma de trabajo más

estructurada consistente en que, tras la realización de cada actividad se produzca una puesta en común antes de pasar a la siguiente. Ello permite al profesor reformular y sintetizar, si fuera necesario, las aportaciones de los grupos, orientando al propio tiempo la actividad siguiente. Por supuesto dicha puesta en común no debe emplear excesivo tiempo. Pueden utilizarse para ello diversas técnicas: bien una transcripción simultánea de las respuestas de los grupos en la pizarra, bien solicitar la respuesta de un solo grupo, respuesta que los demás grupos, en caso necesario, critican, completan o matizan. En cualquier caso, es necesario que el profesor juegue un papel activo, centrando las intervenciones y realizando en el momento oportuno una reformulación globalizadora. A este respecto, no es conveniente esperar a que todos los grupos hayan terminado antes de pasar a la puesta en común, lo que podría entorpecer el ritmo normal de la clase. En realidad la puesta en común ofrece la posibilidad de completar el trabajo pendiente en algún grupo y, por otra parte, una cierta tensión positiva para que el trabajo se haga rápidamente -dentro de ciertos límites que el profesor ha de saber valorar- resulta beneficiosa, evitando la dispersión y el aburrimiento. El profesor debe pues estar atento al trabajo de los grupos y saber pasar a la discusión general en el momento oportuno. Naturalmente, puede ocurrir en algunas ocasiones que el trabajo de los grupos haya sido ineficaz -quizás porque la actividad planteada era inadecuada, lo que obliga a su modificación- o bien, lo que sucederá más frecuentemente, que dicho trabajo sea incompleto y el profesor deba, en sus reformulaciones, añadir información, etc. Pero el hecho de que esta información responda a problemas (Otero 1985) que los grupos se han planteado previamente la hace significativa para los alumnos, incluso cuando su trabajo ha resultado infructuoso. Una de las críticas más comunes al modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias consiste, precisamente, en poner en duda que el trabajo de los alumnos pueda ser fructífero. Nos remitimos al apartado 3 para la discusión de esta cuestión.

En definitiva, pues, la forma en que utilizamos el programa-guía consiste en la realización ordenada de las actividades propuestas, seguida, cada una de ellas, en general, por una puesta en común, con reformulación del profesor que puede así ayudar a clarificar y completar el trabajo de los pequeños grupos.

5. ¿COMO ELABORAR LOS PROGRAMAS-GUIA?

¿Cómo diseñar programas de actividades que hagan posible la construcción de conocimientos por los alumnos? Sin duda es esta una cuestión fundamental y para la que solo hay una respuesta posible: mediante un constante trabajo de investigación aplicada (Gil 1982; Driver y Oldham 1986). Un trabajo que comience teniendo en cuenta las aportaciones de la investigación en el diseño de las actividades y que someta a contrastación experimental la viabilidad de cada actividad -de su conjunto- para favorecer un aprendizaje significativo y generar actitudes positivas hacia ese aprendizaje.

Desde ese punto de vista, un programa-guía aparece como algo siempre en (re)elaboración, sometido a retoques, añadidos y, a menudo, remodelaciones totales, fruto de la experiencia obtenida en su aplicación y de las nuevas aportaciones de la investigación didáctica. Ello supone, sin duda, mucho más trabajo para el profesorado, pero al mismo tiempo concede a dicho trabajo todo el interés de una investigación, de una tarea creativa, lo que sin duda es uno de los requisitos esenciales para una acción docente eficaz (Gil 1985).

Tan sólo a título de ejemplo enumeramos a continuación algunos tipos de actividades que, en general, consideramos hay que tener en cuenta para la confección de un programa-guía de Física y Química para alumnos de Enseñanza Media (Furió y Gil 1978). Insistimos, sin embargo en que no tratamos de sugerir que la confección de un programa-guía deba regirse por un listado de este tipo: son criterios epistemológicos y psicológicos los que han de orientar el cambio conceptual que supone toda construcción de conocimientos. A pesar de ello consideramos conveniente tener en cuenta toda una multiplicidad de tipos de actividad que pueden ser útiles en la construcción, clarificación y/o afianzamiento de los conocimientos y habilidades, contribuyendo a una variedad de abordajes que evite la monotonía.

Presentamos, pues, una selección de tipos de actividad que hemos agrupado en tres bloques que denominamos respectivamente de «iniciación», de «desarrollo» y de «acabado» del tema (Furió y Gil 1978).

A. Actividades de iniciación

- sensibilización al tema (motivación)
- proporcionar una concepción preliminar de la tarea que sirva de hilo conductor

- explicitación y puesta en valor de las ideas que posean los alumnos

B. Actividades de desarrollo

- Construcción y manejo significativo de los conceptos:
 - . introducción cualitativa de los conceptos físicos y químicos (a partir de las ideas intuitivas previas y a título de hipótesis) e invención de definiciones operativas basadas en dichos conceptos cualitativos
 - . manejo reiterado de los conceptos introducidos en distintas situaciones, cara a contrastar su validez y, en su caso, afianzarlos.
 - . construcción de gráficos cualitativos como forma de favorecer la discusión y comprensión de aspectos complejos
 - . interpretación física de datos numéricos
 - . establecimiento de semejanzas y diferencias
 - . establecimiento de conexiones entre partes distintas de la asignatura
 - . establecimiento de «líneas de demarcación» entre expresiones y conceptos más o menos próximos
 - . detección de errores (introducidos exprofeso)
 - . establecimiento del dominio de aplicabilidad (o campo de validez) de una expresión
 - . análisis crítico de proposiciones
 -
- familiarización con aspectos clave del trabajo científico a desarrollar en el abordaje de problemas (experimentales o no)
 - . formulación precisa de problemas a partir de situaciones problemáticas abiertas
 - . emisión y fundamentación de hipótesis a partir de los conocimientos previos
 - . manejo de la literatura
 - . elaboración de estrategias de resolución y, en su caso, de diseños experimentales
 - . obtención de resultados y análisis e interpretación de los mismos a la luz de las hipótesis y del cuerpo de conocimientos disponible.
 - . confección de memorias
 - . lectura y discusión de memorias científicas
 -
- estudio de las relaciones ciencia/sociedad
 - . aplicaciones tecnológicas
 - . estudio de implicaciones sociales
 - . toma de decisiones
 - . problemas ideológicos
 -

C. Actividades de acabado

- elaboración de síntesis, esquemas, mapas conceptuales
- evaluación del aprendizaje realizado, interés por la tarea, etc
- referencias al hilo conductor del temario, problemas que quedan planteados, etc
- ...

Es preciso, además, establecer formas de almacenar los resultados de las sucesivas actividades, de manera que el alumno pueda proceder a las revisiones necesarias. Por ello, una actividad que consideramos imprescindible en cada tema es la confección de una síntesis del mismo.

Digamos para terminar que conviene proceder a periódicas evaluaciones de las formas de trabajo en clase, dejando que los grupos planteen aquellas cuestiones y problemas de funcionamiento que les resulten más relevantes. Esta evaluación es esencial en el proceso de investigación/acción que exige la elaboración de los programas-guía de actividades (Driver y Oldham 1986): qué actividades funcionan y cuáles no; hasta qué punto los alumnos perciben cual es el hilo conductor del tema o se sienten simplemente arrastrados de actividad en actividad; cual es el interés de las propuestas de trabajo; en qué medida se produce o no un aprendizaje significativo,... Todas estas cuestiones exigen una contrastación experimental, en la que la evaluación de los propios alumnos -particularmente en el caso de futuros profesores- ha de jugar un papel

fundamental. Queremos resaltar que la confección de los programas-guía tiene para nosotros las características de una investigación/acción a través de la cual el trabajo del profesor cobra una nueva dimensión, aproximándose la preparación e impartición de las clases a una investigación didáctica aplicada, lo que contribuye a dar un mayor interés y efectividad a la tarea docente (Piaget 1969; Stenhouse 1975; Ribas 1986).

6. ¿QUE INCONVENIENTES PUEDE PRESENTAR EL USO DE PROGRAMAS-GUIA?

No queremos terminar sin mencionar algunos posibles inconvenientes del uso de programas-guía y, en general, de los planteamientos constructivistas del aprendizaje. Nos referimos a inconvenientes reales que es preciso tener muy en cuenta y para los que sólo existen respuestas parciales, que exigen delicados equilibrios no siempre fáciles de lograr o mantener. Comentaremos brevemente algunos de estos inconvenientes con objeto, fundamentalmente, de salir al paso de expectativas simplistas y empobrecedoras en soluciones-milagro.

Una de las críticas más frecuentes a cualquier propuesta didáctica diferente de la simple transmisión/recepción de conocimientos es la gran cantidad de tiempo que precisan los planteamientos activos (o, si se prefiere, las dificultades con que tropiezan para cubrir los programas).

Es cierto que los programas enciclopédicos son una de las barreras fundamentales para un correcto planteamiento de la enseñanza/aprendizaje y que una drástica reducción de los currícula es una antigua y fundamentada reivindicación (Piaget 1969; Linn 1987) que ofrece elementos de respuesta a la crítica mencionada. Y es cierto también que es *precisamente* en la medida en que una estrategia de aprendizaje exige tiempo, que un auténtico aprendizaje se hace posible: los tratamientos rápidos no pueden producir más que visiones superficiales y, a menudo, confusas.

Por otra parte, no puede decirse que no importa la mayor o menor cantidad de materia que se estudia: un aprendizaje significativo exige unos contenidos mínimos que muestren el carácter de cuerpo coherente de los conocimientos científicos (Hodson 1985). Así pues, el problema del tiempo no puede despacharse como una cuestión irrelevante: es preciso un equilibrio nada fácil entre las necesidades contrapuestas de profundización y de visión coherente.

Un segundo peligro, al que ya hicimos referencia en el apartado 3, procede de la posible rigidez que la existencia de un programa de actividades predeterminadas puede introducir. Es de nuevo un peligro real y no basta con replicar -como hicimos en dicho apartado- que la ausencia de tal programa se traduce en improvisación... del profesor, es decir, en actividad del profesor a expensas de la de los alumnos. Es preciso ser consciente de los peligros de rigidez y permanecer atentos a la coherencia entre lo que prevemos que generarán las actividades diseñadas y lo que realmente ocurre en la clase. Y es preciso la máxima flexibilidad para modificar el programa -incluso «sobre la marcha»- durante el desarrollo de una clase.

En asociación al peligro anterior, se critica en ocasiones la «rigidez metodológica» de los programas-guía y se propone un eclecticismo que no excluya ni la transmisión de conocimientos ya elaborados («no se puede negar que, en ocasiones, la explicación del profesor puede ser eficaz») ni un trabajo individualizado («¿Por qué siempre un trabajo en grupos?»). Digamos simplemente a este respecto que el propósito de los programas-guía es evitar la tendencia espontánea a primar la actividad del profesor. Ello exige, repetimos, una cuidadosa -al tiempo que flexible- programación de actividades, pero no excluye, muy al contrario -como ya hemos puntualizado en el apartado 3- las intervenciones del profesor, ni tampoco que alguna actividad pueda consistir en escuchar una exposición del profesor (para extraer individualmente y/o mediante discusión en grupo las ideas clave) o en la lectura y comentario de un texto. Lo esencial, repetimos, es primar la actividad de los alumnos, su construcción de conocimientos, y evitar que -en aras de un ecléctico «todo vale»- todo siga más o menos como siempre.

También se menciona -y cada vez con mayor frecuencia- el peligro de que los alumnos no deseen realizar el esfuerzo que supone trabajar las actividades y prefieran escuchar del profesor lo que hay que aprender; o bien que esta forma de trabajo les desorienta y les conduce a aprendizajes desconexos, faltos

de coherencia, por lo que prefieren el orden de una explicación; o bien, simplemente, que se aburren y no desean implicarse en las tareas que se les proponen, encontrando menos molesto escuchar o aparentar que escuchan. Todos ello son peligros muy reales: trabajar con programas-guía no es una garantía para conseguir el entusiasmo de los alumnos, y las actividades pueden carecer, efectivamente, de interés o el profesor puede no llegar a transmitir su pasión por aquello que se está estudiando (o incluso no tenerla).

Los peligros son, efectivamente, muchos y es preciso ser conscientes de ellos; de aquí el papel fundamental que debe darse a una evaluación continua. Y no nos referimos únicamente a la evaluación del aprendizaje conseguido por los alumnos, sino también de su interés (¡y el del propio profesor!) por lo que se está haciendo. Precisamente, la elaboración de los programas-guía (y no su simple aplicación) y, en definitiva, un trabajo colectivo de investigación/acción puede contribuir al interesamiento del propio profesor, sin el cual difícilmente puede lograrse una acción docente eficaz. En esa tarea abierta y creativa (a la vez para los alumnos y los profesores) que constituye una característica esencial del modelo constructivista, podemos encontrar una respuesta parcial -y nunca definitiva- a algunas de las dificultades.

NOTA: El capítulo 2 del libro del alumno incluye algunas consideraciones metodológicas que presentamos aquí en el siguiente apartado.

7. A MODO DE CONCLUSION: EN DONDE SE RECONOCE QUE EL RECHAZO DE LOS ALUMNOS HACIA LAS CIENCIAS ES, EN BUENA PARTE, FRUTO DE LA INCORRECTA ORIENTACION QUE NOSOTROS, LOS PROFESORES, DAMOS A SU ENSEÑANZA, Y SE ARGUMENTA LA NECESIDAD DE UN NUEVO PACTO EN EL QUE LOS ALUMNOS SEAN INTERLOCUTORES

Un cambio en profundidad en la actitud general de rechazo hacia el aprendizaje exige, sobre todo, otra forma de trabajo en la clase, un «contrato» distinto entre profesores y alumnos. Esta es la cuestión que vamos a abordar aquí con algún detalle.

7.a. La seguridad del profesor ante el 4.75

Permitidnos comenzar contándoos algunas cosas que aparentemente no tienen mucho que ver con el tema de este capítulo.

Muy recientemente se procedió a realizar la siguiente experiencia: se dieron copias de un mismo ejercicio resuelto a distintos profesores, para que los corrigieran y calificaran. El ejercicio era siempre el mismo, pero iba acompañado de una pequeña presentación que, en la mitad de las copias indicaba que se trataba del ejercicio de un buen alumno y, en la otra mitad, de un alumno «flojo». La nota media dada al «buen» alumno por unos 30 profesores fue un notable alto; la dada al «mal» alumno por otra treintena de profesores fue inferior a cinco.

Una experiencia similar se realizó en Inglaterra proporcionando a distintos profesores un mismo ejercicio, firmado, en la mitad de las copias, con un nombre de chico, y en la otra mitad con el de una chica. Las notas del «chico» fueron sistemáticamente más altas que las de «la chica».

¿Qué os sugieren estos resultados?

A nosotros, los profesores, experiencias como las que acabamos de resumir nos producen, claro está, sorpresa e inquietud. ¿Quiere ello decir que no somos objetivos? ¿Que nuestros 4.75, tantas veces «defendidos» contra alumnos «impertinentes» no son tan seguros como creíamos? ¿Nos dejamos llevar tan fácilmente por prejuicios? Pues sí, exactamente quiere decir eso... y mucho más. Dejad que relatemos otra experiencia muy ilustrativa:

En una serie de escuelas norteamericanas se hizo creer a los maestros que un test de inteligencia había mostrado que algunos de sus alumnos (elegidos, en realidad, al azar) eran «superdotados». Dos años

después, pruebas rigurosas mostraron que el progreso de los supuestos superdotados había sido muy superior al del resto de la clase: los profesores habían creído en esos alumnos y les habían transmitido sus expectativas ayudándoles a progresar. Muchas experiencias similares a esta muestran que cuando un alumno se siente apoyado e impulsado, se interesa por su trabajo y avanza mucho más. Dicho de otro modo, los resultados de los alumnos no se explican por una supuesta inteligencia natural, distinta de unos alumnos a otros e inmodificable. Esos resultados son el fruto complejo de muchos factores, entre los que destacan las expectativas de su entorno (familia, escuela) y las que él mismo adquiere. Es, pues, muy importante que todos nosotros, profesores y alumnos, seamos conscientes de que la inmensa mayoría de los alumnos -con muy escasas excepciones, fruto de traumas biológicos o psicológicos- puedan tener éxito en su trabajo. Que está en nuestras manos crear un clima favorable para que los alumnos adquieran esa autoconfianza y el éxito se produzca. La idea de alumnos «dotados» y «no dotados» carece de fundamento científico y es sólo una apariencia superficial, aceptada, en general, como «evidencia de sentido común». Es cierto que los alumnos tienen historias diferentes que hacen que, en un momento dado, unos tengan más facilidad que otros para aprender determinadas cosas; pero nada permite tomar esto como un hecho inmodificable; al contrario, las investigaciones más rigurosas muestran que un clima positivo de trabajo termina por vencer los retrasos y las supuestas «incapacidades». Y cuando ello no se produce, cuando la mayoría de los alumnos fracasa, somos los profesores y toda la sociedad quienes fracasamos. De acuerdo con ello, el primer punto del nuevo pacto a establecer entre profesores y alumnos podría ser este:

Los resultados de los alumnos de una clase no son atribuibles exclusivamente a esos alumnos, sino al trabajo del colectivo-clase, del que el profesor es parte esencial. Dicho de otro modo, la función del profesor no es ser un «juez objetivo» que dictamina quien puede aprobar y quien no. Por el contrario, su función principal es la de dirigir e impulsar de forma efectiva el progreso del grupo-clase.

En resumen: esta cuestión de las expectativas positivas (de profesor y alumnos) y la voluntad común para lograr el éxito es, como muestran innumerables estudios, fundamental. Pero, por supuesto, no basta con ello: otros cambios son necesarios en la forma en que se desarrolla el trabajo en el aula, a los que nos referiremos a continuación.

7.b. ¡He dicho silencio!

La mayoría de los profesores, al comenzar a ejercer, pretendemos crear en la clase un clima distinto al que vivimos como alumnos. Pero casi inevitablemente terminamos, al poco tiempo, actuando según el modelo de profesor «de toda la vida». Hay muchas razones para ello: está, en primer lugar la práctica reiterada que hemos vivido durante años, viendo actuar a nuestros propios profesores; juega también el temor a que «se nos escape la situación», es decir, el miedo a los alumnos, que son muchos y que suelen «ensañarse» con quienes muestran debilidad. Por unas u otras razones, terminamos explicando sobre la tarima y reclamando de los alumnos simplemente atención a nuestras explicaciones: estudios realizados acerca del tipo de actividades desarrolladas en clase, muestran que la mayor parte del tiempo se destina a que el profesor hable y los alumnos escuchen; ello interrumpido con algunas preguntas que el profesor hace (a veces sin esperar la respuesta) y, más raramente, con peticiones de aclaraciones por parte de los alumnos. En conclusión: la clase se convierte en un lugar para la actuación casi exclusiva del profesor, mientras los alumnos atienden en silencio. Y si al cabo de un tiempo los alumnos se fatigan de escuchar, el profesor reclamará atención, exigirá silencio, pedirá que se le escuche. Las expresiones ¡escuchad! ¡prestad atención! y ¡silencio!, son quizás las más repetidas en la mayoría de las clases.

Pero, ¿acaso puede hacerse otra cosa? ¿No es utópico pensar que los alumnos puedan aprender si no es siguiendo las explicaciones del profesor? La verdad es que esta pregunta no deja de tener su gracia, puesto que lo que resulta un hecho reiteradamente comprobado es que con una enseñanza expositiva, la mayoría de los alumnos no aprenden ciencias. ¿Entonces?

7.c. ¿Genios o cabezas vacías?

Las investigaciones realizadas estas últimas décadas en torno a como conseguir que los alumnos aprendan ciencias, señalan la necesidad de que *participen en la construcción de los conocimientos científicos* en vez de limitarse a ser receptores de conocimientos ya elaborados, transmitidos por el profesor o el libro.

¿Y ello cómo? ¿Tienen sentido suponer que los alumnos, por si solos, pueden construir todos los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron de los más relevantes científicos? Evidentemente no se trata de hacer creer a los alumnos que son pequeños genios y que por si solos van a construir conocimientos complejos que la humanidad ha tardado siglos en alcanzar. Pero tampoco es cierto que sean simples recipientes vacíos que el profesor haya de llenar. Existe una tercera posibilidad mucho más fructífera que consiste en organizar la clase en equipos de investigación, dirigidos por el profesor. Os proponemos, pues, **vivir**, a lo largo de este curso, una forma de trabajo que toma como punto de partida vuestras propias ideas e intuiciones e impulsa a que desarrolléis una labor creativa, aunque para ello necesitéis -como necesita cualquier investigador novato- la ayuda de expertos (en este caso, del profesor). Podréis constatar así que, no sólo aprendéis mucho más, sino que adquirís una mejor visión de lo que es el trabajo científico y un interés por la ciencia que la enseñanza ordinaria no puede proporcionar. Vosotros, a lo largo del curso, podréis criticar el trabajo realizado y ayudar así a rectificar y a perfeccionar la nueva orientación del aprendizaje. Ese es, en esencia, el pacto que os proponemos. ¡Buen trabajo!

ESTABLECIMIENTO DE LOS OBJETIVOS GENERALES DEL CURSO

En cursos anteriores se han realizado ya estudios de materias científicas y concretamente de Física y Química. Puede resultar conveniente reflexionar ahora sobre las dificultades encontradas en dichos estudios, deficiencias observadas, etc. Es decir, conviene que los grupos de trabajo realicen la siguiente actividad:

A.1. Enumerar las principales deficiencias de la enseñanza de la Física y Química recibida hasta aquí.

Comentarios A.1.

Digamos en primer lugar que consideramos absolutamente necesario proporcionar un hilo conductor, al que conviene referirse periódicamente para evitar adquisiciones desconexas, dando unidad al contenido abordado, tanto a nivel de cada tema como al de todo el programa. Esta unidad no es evidente, en ocasiones, ni para el propio profesorado que puede limitarse a desarrollar un temario sin una reflexión previa acerca de su sentido global, del por qué de la ordenación misma de los temas, etc (Yager y Penick 1983). Es preciso, pues, proceder a dicha reflexión previa sobre el contenido general del curso, dejar claro el hilo conductor y referirse a él periódicamente. Una actividad en este sentido que no puede faltar es el establecimiento de los objetivos del curso.

Precisamente la actividad A.1. está destinada al establecimiento de unos objetivos generales, fundamentalmente metodológicos, para el desarrollo del curso. Ha sido ensayada con esta formulación indirecta que obliga a «dar la vuelta» a las críticas (pero que tiene la ventaja de un alto poder motivador) y también de forma más directa, del siguiente modo:

A.1. (variante) Una tarea básica en cualquier tipo de trabajo con aspiración científica es el establecimiento de objetivos. ¿Qué objetivos ha de perseguir un curso de Física y Química a este nivel? Se trata de enumerar todo aquello -ya sea específico de la asignatura o común con otras- que convenga tener presente para orientar el desarrollo del curso y para poder evaluar su funcionamiento.

Es preciso señalar que los alumnos aparecen inicialmente desorientados por esta propuesta y que el profesor ha de insistir en que no se trata de proponer contenidos concretos, sino los objetivos, las cosas a conseguir, más generales. Las enumeraciones elaboradas por los distintos grupos -transcritas simultáneamente en la pizarra, para facilitar el debate colectivo- suelen coincidir en bastantes puntos y aportar algunas ideas distintas de un grupo a otro, pero el conjunto de las aportaciones en cualquier clase es siempre, básicamente, el mismo. Y, lo que es más notable, estas aportaciones coinciden con las que elaboran grupos de profesores puestos a trabajar del mismo modo (Gil 1982).

El profesor puede entonces ir poniendo de relieve las distintas respuestas, pidiendo aclaraciones complementarias, reformulando, etc. Así, las habituales propuestas de «ir al laboratorio», «hacer prácticas», «que la enseñanza sea más experimental», «ligar teoría y práctica»... es resaltado por el profesor como la necesidad de que el curso contribuya a la familiarización de los alumnos con la metodología científica experimental.

Insistimos en que se trata de una actividad esencial al comienzo del curso, dado que implica a los alumnos desde el primer momento y puede convertirse, en cierto modo, en un hilo conductor metodológico. Pero quizás sea conveniente referirse antes que nada a una polémica habitual acerca de la posibilidad de participación de los alumnos en la determinación de los objetivos y, más en general, en toda la orientación de un curso.

Están, en primer lugar, quienes sostienen que sin dicha participación de los alumnos desde el establecimiento mismo de los objetivos, no hay posibilidad de que se impliquen realmente en la asignatura,

no hay posibilidad de aprendizaje significativo. Más aún, sería preciso que el desarrollo del curso se ajuste a los intereses de los alumnos.

Esta postura es contestada por quienes consideran que el desarrollo de un curso no puede quedar a merced de unos intereses subjetivos: sólo el profesor conoce la materia y puede orientar el curso, despertar nuevos intereses, etc.

Nuestra propia postura en esta polémica parte del hecho de que los alumnos, trabajando de forma que favorezca la objetivación (trabajo en pequeños grupos y discusión general posterior) hacen propuestas similares a las de los propios profesores, aunque sin duda en forma confusa o anecdótica, lo que exige del profesor un trabajo de reformulación y generalización a partir de los enunciados de los alumnos, así como una cuidadosa preparación de la sesión -incluyendo el estudio de las respuestas previsibles de los alumnos- y una cierta habilidad para transformar propuestas particulares en enunciados más generales, una actitud abierta a nuevas aportaciones, etc. No se trata, como puede verse, de «dejar hacer» (peligro de la primera postura) ni de una imposición autoritaria (segunda postura) sino de una actitud que favorece el trabajo de los alumnos aportando la ayuda necesaria (¡pero no más!).

Las intervenciones de los alumnos permiten así referirse a objetivos que esenciales van más allá de la simple adquisición de conocimientos, como la adquisición de técnicas del trabajo intelectual («aprender a estudiar», «aprender a almacenar, organizar, manejar... la información», «aprender a programar el trabajo», «aprender a exponer las ideas»...), la familiarización con las características del trabajo científico, la comprensión de las relaciones ciencia/sociedad, etc, etc.

En resumen, insistimos en el alto poder motivador de esta primera actividad, que contribuye a crear un clima de participación y ayuda a tener presente aspectos esenciales en el aprendizaje de las ciencias a menudo olvidados.

La enumeración de dificultades, carencias, etc, realizada, ha permitido en la actividad anterior establecer unos objetivos generales metodológicos a los que deberá ajustarse el desarrollo del curso. Este establecimiento de objetivos constituye, sin duda, una tarea esencial en cualquier trabajo con aspiración científica como el que ahora iniciamos. Pero, además de estos objetivos generales, válidos en su mayoría para el estudio de cualquier materia científica, conviene plantearse ahora el contenido de un curso de ciencias físico-químicas con objeto de establecer un hilo conductor para el desarrollo del curso. A tal objeto planteamos en primer lugar la siguiente actividad:

A.2. Exponer las ideas que se posean acerca de las ciencias físico-químicas.

Comentarios A.2.

La intervención del profesor tras esta discusión podría ir dirigida a situar la Física y la Química como ciencias y mostrar, entre otras cosas:

- La coincidencia de todas las ciencias en cuanto formas de estudio de la materia y de sus transformaciones (y aprovechamiento de las mismas). Coincidencia que corresponde a la misma unidad de la materia (puesta en evidencia por el propio desarrollo científico).

- Pero al mismo tiempo es preciso dejar claro que el estudio de la materia se realiza desde distintos ángulos, que corresponden a los diferentes niveles de organización de la materia (físico, químico, biológico,...). La existencia de distintas ciencias no es, pues, gratuita (Aguilà y Gil 1983; Hodson 1985; Linn 1987)

- En este contexto la Física supone el estudio de los niveles de organización y de las transformaciones más simples de la materia y la Química aborda ya situaciones más complejas, como las transformaciones de unas sustancias en otras, aunque muy lejos aún de la complejidad de los procesos vitales, etc.

La actividad anterior debe haber permitido conectar con las ideas que, acertadas o no, se poseen sobre la Física y Química: su campo de estudio, aplicaciones, etc. Es ahora posible (y necesario) exponer con cierto detenimiento, a modo de hilo conductor, cuales son los contenidos del curso:

A.3. Exposición por el profesor del programa de la asignatura.

Comentarios A.3.

Ya hemos insistido en la introducción general a este volumen en que no nos pronunciamos por ningún temario concreto que consideremos obligado desarrollar. los temas que incluimos en el índice superan, en

cualquier caso los contenidos que pueden abordarse con un mínimo de profundización en un curso de estas características y tan sólo persiguen favorecer las necesarias opciones. Pero sea cual sea el temario elegido hay que insistir en la necesidad de un hilo conductor que muestre la lógica y coherencia del programa a desarrollar, evitando la frecuente impresión de temas desligados que producen algunos temarios. Naturalmente hay que concebir esta comprensión del hilo conductor como un proceso que supone periódicas referencias al mismo a lo largo del curso para ir situando los distintos temas.

Antes de iniciar propiamente el curso conviene tener en cuenta los pre-requisitos, es decir, los conocimientos previos imprescindibles. En principio -y tal como habrá, sin duda, quedado claro en la discusión de la actividad A.1- el curso que va a iniciarse no encierra dificultades mayores y cualquier alumno que trabaje normalmente en clase debe poder adquirir los conocimientos y técnicas programados. Los conocimientos previos necesarios son, pues, escasos y aquí nos limitaremos a revisar algunos aspectos del cálculo matemático:

A.4. El profesor planteará algunos ejercicios para revisar los pre-requisitos matemáticos: aislar una variable, resolver sistemas sencillos de ecuaciones, manejo de potencias de 10, simplificar fracciones,...

Comentarios A.4.

Estos ejercicios de revisión pueden plantearse utilizando la técnica del texto programado y ser entregados a los alumnos en el momento de matricularse, solicitando su realización antes de iniciarse el curso. Se trata de combatir así las conocidas pérdidas que se producen durante los períodos vacacionales y que se convierten en un obstáculo si no se les presta una mínima atención. Pueden ser abordados también a lo largo del curso en función de las necesidades. Lo más importante, sin embargo, es que los alumnos (y previamente el profesor!) adquieran el convencimiento de que no hay obstáculos insalvables y que es normal olvidarse de cosas que habrá que revisar. Se trata en definitiva de crear el clima de confianza y de trabajo que permita un aprendizaje efectivo.

APROXIMACION AL TRABAJO CIENTIFICO

Uno de los objetivos prioritarios en cualquier curso general de las ciencias físico químicas ha de ser, sin duda, contribuir a la comprensión de lo que es la ciencia, sus métodos y su relación con el conjunto de la vida social. Por ello conviene iniciar el curso con una aproximación a estos aspectos básicos, que habrán de ser desarrollados y concretados en el resto del temario.

Comentario general para el profesorado

Pese a la frecuencia con que se insiste -en las consideraciones didácticas para la enseñanza de un curso de Física y/o Química- en la necesidad de «aprovechar todas las ocasiones para resaltar la continua aplicación del método científico» (Boletín Oficial del Estado, número 93/75), de hecho -tal como se ha señalado ya en la introducción- dicha aplicación suele reducirse en la mayoría de los textos -ya sean de Educación General Básica, de Enseñanza Secundaria o de nivel universitario- a unas primeras consideraciones de un primer capítulo de generalidades. Consideraciones que, por lo demás, ofrecen una visión excesivamente simplista del trabajo científico (Gil 1983 y 1986; Hodson 1985; Millar y Driver 1987).

Por otra parte es indudable que la comprensión de las características del trabajo científico no puede lograrse con ninguna exposición teórica por muy clara que sea y que, por el contrario, exige su práctica reiterada, es decir, la realización de investigaciones en las que se pongan en juego los distintos aspectos del tratamiento científico de los problemas. Pero, en todo caso, es necesario también una reflexión explícita que conecte con las ideas que los alumnos ya poseen acerca de lo que se entiende por «Método Científico» (por supuesto con mayúsculas). Una reflexión que conviene realizar al comienzo del curso y que puede replantearse cuando el desarrollo del mismo haya permitido profundizar en los problemas que inicialmente se esbozan.

A continuación presentamos un programa-guía para realizar una primera aproximación al trabajo científico, ensayada con buenos resultados no sólo con alumnos de Enseñanza Secundaria, sino también en cursos de formación inicial y permanente del profesorado.

Este programa-guía consta de 34 actividades agrupadas en cinco puntos que abordan respectivamente:

- 1. Algunas características generales del trabajo científico*
- 2. El modo de crecimiento de las ciencias*
- 3. Relaciones ciencia/sociedad*
- 4. Análisis del proceso de medida*
- 5. Construcción e interpretación de gráficas*
- 6. Actividades complementarias*

Señalemos antes de empezar que, aunque los apartados 1, 2, y 3 conviene verlos en esta introducción al uso, los otros tres apartados -y muy en particular el de la construcción e interpretación de gráficas- pueden introducirse cuando así lo exijan los problemas abordados.

1. ALGUNAS CARACTERISTICAS GENERALES DEL TRABAJO CIENTIFICO

A.1. En primer lugar conviene que los alumnos -para quienes, indudablemente, este no es su primer contacto con las materias científicas- traten de enumerar los aspectos fundamentales que vendrían a caracterizar lo que se conoce como método científico. Se trata, en definitiva, de enumerar las distintas actividades que forman parte de la metodología científica.

Comentario A.1.

Se trata de una actividad que pretende llevar a los alumnos a explicitar sus concepciones de partida, lo cual 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 peligro 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, utilizarse como base de las siguientes actividades.

Las respuestas de los alumnos suelen incluir, en general, la observación, la experimentación, la emisión 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 toda 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 a fuerza de simplistas.

A.2. Dar una opinión fundamentada de cual puede considerarse la primera etapa de una investigación científica

Comentarios A.2

La generalidad de los grupos responde a esta cuestión refiriéndose -como 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 apoyarse en esta discusión para realizar algunas puntualizaciones:

No existe el «Método Científico», si por tal entendemos un conjunto de reglas a aplicar mecánicamente y válido para cualquier dominio científico: cada tipo de problema va a exigir sus propios métodos o técnicas específicas. 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 o imprevisto como en una necesidad de tipo técnico, etc. Pero lo verdaderamente relevante es que la situación se presente como problemática a la luz de las concepciones aceptadas. Más aún, es preciso dejar bien sentado 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, por tanto, hay que matizar la idea de comienzo, en el sentido de que toda investigación se inserta en el proceso general del desarrollo científico.

Pero no basta con el 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 y que es un aspecto esencial del tratamiento científico (citado casi siempre por algún grupo).

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 del curso se iniciara a los alumnos en las tareas bibliográficas: visita a hemerotecas, busca 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. Puede citarse a este respecto algún ejemplo de la importancia del aspecto acumulativo incluso en las investigaciones más

innovadoras. Pensemos, por ejemplo, en las concepciones heliocéntricas de Copérnico: estas concepciones que iban a revolucionar toda la astronomía, son deudoras -como el mismo Copérnico declara en *De Revolutionibus*- de ideas enunciadas 2.000 años atrás.

Señalemos por último que la formulación de un problema suele ir acompañada explícita o implícitamente de alguna suposición o conjetura explicativa, puesto que, como ya hemos señalado, los nuevos problemas no se abordan a partir de cero, sino siempre desde conocimientos, ideas y vivencias previos. Conviene ahora referirse a la emisión de hipótesis que es, naturalmente, algo más que esas conjeturas, normalmente confusas, iniciales, y que juega un papel capital en la realización de cualquier investigación.

A.3. Exponer las ideas que se posean sobre el concepto de hipótesis científica, señalando sus características esenciales.

Comentarios A.3.

Las respuestas de los alumnos permiten dejar claro que por hipótesis debe entenderse una conjetura verosímil (es decir, sin contradicciones evidentes) susceptible de una contrastación experimental. 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 del 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 las experiencias, tales como velocidad, masa, trabajo..., que denominamos magnitudes.

La contrastación directa de una hipótesis no siempre es posible, y ello exige la deducción de consecuencias lógicas que sí sean susceptibles de contrastación. Tanto la introducción de conceptos operativos como esta derivación de consecuencias lógicas hacen ver la importancia de las 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, el conocimiento profundo del problema..., van a favorecerla.

Señalemos, por último, que la contrastación experimental de la hipótesis exige el diseño de montajes experimentales adecuados, en los que es preciso detenerse.

A.4. Enumerar los requisitos fundamentales de un experimento científico.

Comentarios A.4

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 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 fenómenos 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.

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 esencial 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.5. Exponed algunas de las técnicas que consideréis adecuadas para la interpretación de los resultados de un experimento

Comentarios A.5

De nuevo es preciso referirse aquí al papel jugado por el aparato lógico de la ciencia, presente desde la ordenación y clasificación de los resultados (tablas, representaciones gráficas, etc) al establecimiento de correlaciones entre las distintas magnitudes o la misma determinación de la fiabilidad de los resultados alcanzados, que exige la repetición del experimento y un tratamiento matemático de los mismos -conocido como determinación del valor representativo y cálculo de la imprecisión- que habrá que estudiar 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. 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 denominan leyes y teorías científicas en las que es preciso detenerse mínimamente.

A.6. Exponer las ideas que se posean sobre lo que se entiende por leyes y por teorías científicas

Comentarios A.6.

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 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. Para algunos, este carácter matemático y abstracto de la ley científica es su rasgo fundamental. Así, Richard Feynman dedica todo un capítulo de su libro «The character of the Physical law» a la relación entre la Física y las Matemáticas, afirmando que «cada una de nuestras leyes es un enunciado puramente matemático y en términos matemáticos muy complejos y abstractos» (Feynman 1970). Dicha afirmación, ampliamente compartida por científicos y filósofos en nuestros días, plantea toda la relación entre ciencia y realidad, que es preciso abordar explícitamente. Pero antes terminaremos con esta breve consideración de la naturaleza de las leyes y teorías científicas. A este respecto conviene señalar 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.

A.7. Elaborar, a modo de síntesis de lo visto hasta aquí, un diagrama de un ciclo de investigación. Señalar asimismo las semejanzas y diferencias esenciales entre la forma de abordar los problemas en la vida cotidiana y un aborde científico.

Comentarios A.7.

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. 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. La figura 1 reproduce un ejemplo de tales diagramas.

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.

EJEMPLO DE DIAGRAMA DE UN CICLO DE INVESTIGACION

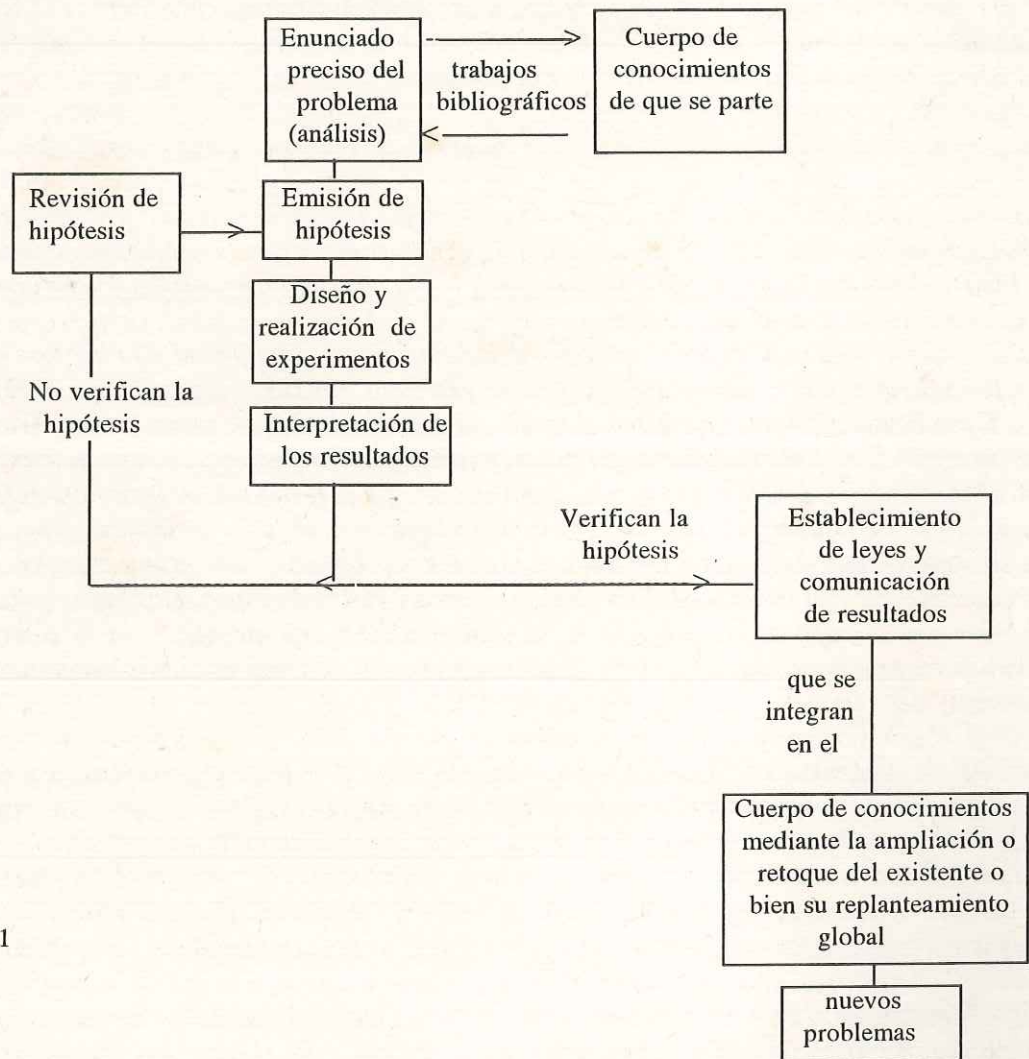


Fig.1

2. EL MODO DE CRECIMIENTO DE LAS CIENCIAS

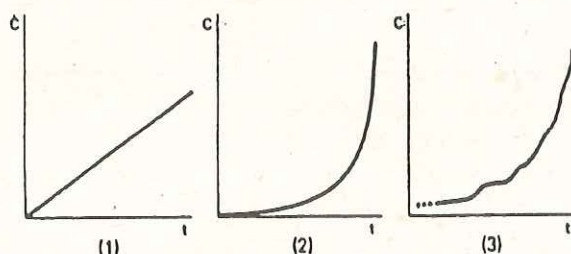
En la breve exposición realizada hasta aquí hemos señalado repetidamente la necesidad de considerar cualquier trabajo científico como etapa de un proceso general de desarrollo de las ciencias y hemos insistido, por tanto, en el papel fundamental del aspecto acumulativo con vistas a dar una imagen más real de como se desarrolla una ciencia cualquiera.

A.8. Supuesto que se haya definido una magnitud C que determine, de forma aproximada, el nivel científico de una época en un dominio concreto, tratar de representar cualitativamente la variación de C en función del tiempo. Es decir, tratar de plasmar en dicho gráfico la «forma» de evolución de los conocimientos en un dominio determinado.

Comentarios A.8

Las diferentes respuestas de los alumnos pueden esquematizarse en las gráficas (a), (b) y (c) de la figura 2.

Figura 2



La primera es rápidamente rechazada por dar a entender un crecimiento regular, lineal. La segunda contiene la idea parcialmente justa de un crecimiento exponencial y la tercera introduce la de un desarrollo no regular. Es preciso, en efecto, rechazar cualquier imagen de crecimiento lineal; nos vamos a encontrar, por el contrario, con un desarrollo irregular de origen a menudo confuso (representado en la gráfica (c) por un trazo discontinuo), con períodos de estancamiento y grandes saltos hacia delante de crecimiento exponencial.

En segundo lugar, es preciso también dejar de concebir el crecimiento científico como un proceso meramente acumulativo en el que los nuevos conocimientos vienen a sumarse a los anteriores «engrandeciendo», por así decir, el edificio original. Muy al contrario, en toda ciencia se producen a lo largo de su desarrollo verdaderas «rupturas», cambios profundos en las concepciones, que rompen con las hasta entonces aceptadas y que suponen una remodelación total del cuerpo teórico de dicha ciencia (Kuhn 1971; Bachelard 1971; Althusser 1968).

Conviene aquí llamar la atención contra la visión que habitualmente se transmite de la construcción de los conocimientos científicos como algo puramente objetivo, donde la verificación empírica conduce a fáciles consensos por encima de cualquier influencia exterior, personal o política (Apple 1986). Se ignora así, por una parte, el papel de la controversia en el progreso científico y, por otra, se esconden los graves conflictos a los que ha estado asociado el desarrollo científico: desde los enfrentamientos ideológicos (condenas de los trabajos de Copérnico, Galileo, Darwin...) a las complejas relaciones ciencia/técnica/sociedad.

A.9. Enunciar algunos de los cambios profundos o discontinuidades producidos en el desarrollo de las ciencias (en cualquiera de sus dominios: física, biología,...)

Comentarios A.9.

Esta actividad permite que los alumnos hagan una «revisión» de las materias científicas que han estudiado, bajo un nuevo punto de vista que tiende a resaltar el carácter discontinuo, conflictivo, del crecimiento científico. Se refieren así a la teoría heliocéntrica, al darwinismo, a la teoría de la relatividad... En ocasiones, sin embargo, confunden «cambio profundo» con «aplicación importante» y hablan, por ejemplo, de los antibióticos. Conviene entonces detenerse en clarificar estas cuestiones.

La teoría heliocéntrica o el darwinismo son, además, claros ejemplos de cómo tales cambios no son siempre fáciles y rebasan el marco científico. Pero este es un aspecto de la compleja interacción ciencia/sociedad al que dedicamos el siguiente apartado.

3. RELACIONES CIENCIA-SOCIEDAD

A.10. Exponer las relaciones que se considere existen entre «ciencia» y «técnica»

Comentarios A.10.

Con frecuencia se distingue entre «ciencia», cuyo objetivo sería «el conocimiento puro» y «técnica», destinada a la resolución de problemas prácticos. En cierto modo, la técnica sería, pues, una aplicación de la ciencia pura (de aquí el nombre de ciencia aplicada que a veces recibe). Sin embargo, la relación entre ciencia y técnica es mucho más compleja, y una distinción neta entre ambas es prácticamente imposible. En primer lugar, muchas investigaciones han tenido su origen en problemas de orden técnico (el estudio de la composición de movimientos realizado por Galileo, por ejemplo, es solidario de la práctica de lanzamiento de proyectiles por los artilleros). Además, el avance técnico determina con frecuencia la misma posibilidad del trabajo científico (¿Sería concebibles los progresos en astronomía sin los telescopios?)

Esta interdependencia es cada vez más marcada y ha llevado a muchos autores a rechazar la distinción entre ciencia pura y aplicada. En este sentido se habla de una «Revolución científico/técnica», caracterizada por el papel cada vez más directo jugado por la ciencia en el proceso productivo, la eliminación de las tareas más simples (mediante la automatización) y el desarrollo de las tareas de diseño, organización racional, etc. Las repercusiones de esta revolución post-industrial, como también se le llama, sería más marcadas que las de la primera: crecimiento espectacular de la productividad del trabajo, con todas las contradictorias repercusiones que ello puede generar (desde un incremento masivo del paro y desarrollo de nuevas armas a la solución de los problemas de desnutrición del tercer mundo). Se evidencia así la necesidad de abordar críticamente el papel jugado por la ciencia en la vida de los hombres.

A.11. Tratar de valorar críticamente, sopesando posibles ventajas e inconvenientes, el papel jugado por la ciencia en la vida de los hombres.

Comentarios A.11.

Una actividad como ésta suele plantear vivas discusiones entre quienes resaltan las posibilidades de las ciencias para dar respuesta a los problemas con que se enfrentan los hombres (enfermedades, desnutrición...) y quienes ponen de relieve la invención de armas mortíferas, la contaminación provocada por el desarrollo industrial, etc. El profesor, tras dejar expresarse a los alumnos puede -sin tratar de imponer ningún punto de vista- hacer una pequeña síntesis de las distintas actitudes frente a las ciencias como la que a continuación se recoge:

A) Podemos referirnos, en primer lugar, a una actitud que hoy no tiene vigencia en nuestro medio cultural, pero que ejerció una indudable influencia en el pasado. Nos referimos a la condena total de la ciencia como algo intrínsecamente pernicioso, por inmiscuirse en lo era «competencia de los dioses», por ser, pues, un acto de soberbia, un intento de alterar los designios divinos. Esta postura se ha dado, con unos u otros matices, a lo largo de la historia, y explica tanto las frecuentes condenas de científicos por sostener puntos de vista que se suponen atentatorios de concepciones sagradas, como las prohibiciones de determinadas investigaciones: así, por ejemplo, durante siglos se consideraron impíos los intentos de comprender el funcionamiento del organismo humano (condena de Servet) y estuvieron prohibidos los estudios anatómicos con cadáveres.

B) Una actitud más común en la época moderna ha sido la de tratar de limitar la ciencia a una función meramente operativa, favorecedora del desarrollo técnico, pero negándole toda incidencia en la concepción del mundo o en cuestiones de organización social que afecten a los intereses de los grupos privilegiados. Ejemplo de esta actitud fue la aceptación de la teoría de Copérnico como un «modelo» cómodo, manejable, que permitía calcular con mayor precisión los datos astronómicos, pero que no decía nada acerca de la realidad (incognoscible a través de la ciencia). Según esta actitud, la ciencia debería limitarse, pues, a elaborar modelos, útiles para el cálculo y la aplicación técnica, pero sin más pretensiones. Se negaba así el valor crítico de la ciencia, privándole, en suma, de su potencialidad transformadora de las ideas. Esta actitud ante la ciencia, bajo una u otra forma, es la más general hoy en día, como se evidencia al analizar el tipo de enseñanza de la ciencia que se programa en cualquier nivel educativo.

C) Una postura como la que acabamos de describir ha engendrado a su vez una nueva actitud de condena de la ciencia: se le acusa de favorecer a los grupos sociales privilegiados a expensas de los intereses de la mayoría de los hombres, como lo prueba la destrucción sistemática del medio ambiente por las modernas industrias, la invención de armas cada vez más mortíferas, la imposición de un consumismo deshumanizador... mientras dos tercios de la humanidad carece de lo esencial.

D) Existe, por último, otra actitud de apoyo matizado a la ciencia. Quienes mantienen dicha postura rechazan el carácter meramente utilitario que se ha tratado de imponer al trabajo científico y resaltan su valor crítico y su capacidad para contribuir a una mayor comprensión de la realidad, al tiempo que la naturaleza conflictiva de su desarrollo, las influencias ideológicas y de intereses que lo determinan. Señalan, además, que los supuestos inconvenientes del desarrollo científico (destrucción del medio, etc) son más bien debidos a su carácter incompleto, es decir, a la mezcla de una capacidad técnica avanzada con formas vetustas de organización social. Lo que haría falta, según esto, sería una extensión de la «aspiración científica» al dominio de las relaciones sociales, cuestionando el carácter «natural» de las formas vigentes; se podría así arrojar nueva luz a las contradicciones e inconvenientes del actual desarrollo científico técnico, y poner este al servicio de intereses generales y a largo plazo.

En cualquier caso, el problema de las relaciones ciencia/sociedad se ha convertido en una cuestión clave en el análisis de la imagen (a menudo deformada) que la enseñanza transmite de la ciencia (Aikenhead 1985; Apple 1986; Schibecchi 1986) y en el estudio de las actitudes de los alumnos hacia el aprendizaje de las ciencias (Schibecchi 1984; James y Smith 1985; Yager y Penick 1986).

4. ANALISIS DEL PROCESO DE MEDIDA

En la breve aproximación al trabajo científico realizada hasta aquí, ha quedado patente el papel del tratamiento cuantitativo en la metodología científica. Aquí nos proponemos, consecuentemente, detenernos en la clarificación del proceso de medida y expresión del resultado.

4.1. Medida directa de una magnitud

A.12. Con objeto de realizar una primera aproximación al proceso de medida, proceded a medir -sin utilizar reglas- la longitud de vuestra mesa de trabajo

A.13. El conjunto de los alumnos de la clase procederá a medir, por ejemplo, la altura de un compañero X, utilizando cintas métricas como instrumento. Cada alumno realizará su medida independientemente, sin intercambios verbales y mientras dure este proceso (que ha de procurarse sea ágil), el resto de los alumnos observaran como cada cual mide, anotando posibles errores, etc.

A.14. Una vez finalizadas las medidas, proceder a comentar la forma en que se han realizado, posibles errores observados, sugerencias para una medida más correcta, etc.

A.15. Sugerir algún procedimiento de visualizar el conjunto de los resultados obtenidos para proceder a un estudio global de los mismos.

A.16. ¿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.17. ¿Qué métodos pueden sugerirse para determinar la imprecisión de una serie de resultados de una medida como los obtenidos?

A.18. Considerar las siguientes medidas de dos longitudes A y B;

Longitud A (cm)	Longitud B (cm)
68	174
77	174
71	174

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

A.19. Exposición por el profesor de sendos criterios acerca del número de medidas necesarias y el número de cifras significativas con que debe expresarse la imprecisión y el valor representativo

A.20. Escribir correctamente las siguientes expresiones incorrectas (teniendo en cuenta que la imprecisión del instrumento es menor, en todos los casos, a la calculada)

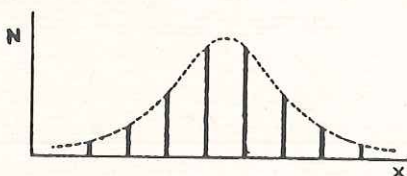
(ejemplo: Expresión incorrecta: (2.321 ± 0.774) U.I.; expresión correcta: (2.3 ± 0.8) U.I.)

- a) (16.347 ± 0.28) U.I.; b) (8.4 ± 0.8) U.I.
 c) (729 ± 0.31) U.I.; d) (0.179 ± 1) U.I.

Comentarios a las actividades del apartado 4.1

La actividad A.12 permite la introducción y discusión de los conceptos de magnitud, unidad, cantidad... La actividad A.13 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. En la A.14, se les propone, precisamente, que comenten la forma en que se han realizado las medidas, lo que lleva a la explicitación de las incorrecciones más significativas y a considerar la posibilidad de obtener mejores resultados. En cualquier caso, la dispersión inicial de los valores es útil para que la actividad A.15 conduzca a la construcción de un histograma en el que aparezca, más o menos aproximadamente la «campana de Gauss» en que suelen agruparse los valores (fig 3).

Figura 3



En cuanto a la discusión de la forma del diagrama, es decir, la justificación de la misma, introduce dos ideas fundamentales: la idea de desviaciones aleatorias por exceso o por defecto como justificación de la simetría del gráfico; y la idea de que las pequeñas desviaciones son más probables que las grandes, de aquí que la altura de las barras decrezca desde el centro a los extremos. A partir de estas ideas resulta lógico tomar como valor representativo de la serie -y así lo proponen los alumnos en la actividad A.16- el que aparece más veces («la moda»), o el valor central («la mediana»), o la media aritmética, en la que se compensan las diferencias por defecto y por exceso, igualmente probables.

La discusión de la actividad A.17 -en la que se plantea cómo determinar la imprecisión que afecta a una serie de resultados de una medida como los obtenidos en A.13- conduce a la propuesta de calcular la desviación de cada valor respecto al tomado como representativo y, a partir de dichas desviaciones obtener la desviación media como expresión del conjunto de medidas. Esta idea, correcta en principio, conduce en su aplicación práctica (en los ejercicios propuestos en A.18) a todo un conjunto de errores. Entre los más frecuentes podemos señalar: -Asignar una imprecisión nula a la longitud B. Ello permite una discusión acerca del límite de precisión permitido por el instrumento de medida, de forma que el resultado acaba escribiéndose $(174 + 1)$ cm. -Sumar las desviaciones con su signo (lo que conduciría, para la longitud A a una desviación media nula) -Escribir la desviación media con un número de cifras significativas cualesquiera, dependiendo del resultado de la división; por ejemplo, en el caso B, 3.3 cm. El profesor puede aclarar, en la intervención propuesta en A.19, lo incoherente de indicar milímetros, décimas de milímetros, etc, cuando la imprecisión es ya del orden de los centímetros.

Aunque son posibles distintos criterios, por nuestra parte recomendamos expresar la imprecisión con una sola cifra significativa. En cuanto al número de cifras significativas del valor medio, ha de dejarse claro que vendrá determinado por la imprecisión. En efecto, si la imprecisión de una cierta cantidad es, por ejemplo, 0.04 U.I (unidades internacionales), o sea, del orden de las centésimas, no se puede escribir para el valor medio 5.36742 U.I, sino 5.37 U.I, expresándose así el resultado: (5.37 ± 0.04) U.I

La actividad A.20 permite afianzar estas ideas. Los alumnos obtienen sin excesiva dificultad los resultados correctos para los casos a, b y c: a) (16.3 ± 0.3) U.I.; b) (8.40 ± 0.08) U.I.; c) (729.0 ± 0.3) U.I El caso d) (0 ± 1) U.I plantea algunas dudas sobre su posibilidad; la referencia a la medida de, por ejemplo, una temperatura de cero grados centígrados con un termómetro que aprecie grados, disipa dichas dudas.

4.2. Obtención de la imprecisión de una magnitud indirecta (Opcional)

A.21. Proceder a determinar la superficie del rectángulo proporcionado por el profesor y expresar correctamente el resultado. Concebir para ello algún procedimiento para determinar el valor representativo y la imprecisión de una magnitud como esta que no se mide directamente.

A.22. Aplicar los procedimientos discutidos para obtener el valor representativo y la imprecisión de un rectángulo del que se han medido los dos lados a y b del mismo con los siguientes resultados:

$$a = (40.0 \pm 0.2) \text{ cm}$$

$$b = (12.0 \pm 0.2) \text{ cm}$$

Comentarios A.21 y A.22 (optativas)

Para la obtención de la imprecisión de una medida indirecta se proporciona a los alumnos (ver A.21) una cartulina con objeto de que procedan a su medida y a la expresión del resultado. La dificultad aparece en la determinación de la imprecisión; los alumnos incurren en analogismos formales del tipo: «si $S = a \cdot b$, $\Delta S = \Delta a \cdot \Delta b$ ». Es una buena ocasión para insistir en la necesidad de que el tratamiento matemático responda a una clara significación física. La búsqueda de dicha significación conduce ahora a propuestas más consecuentes como es calcular el valor de la superficie máxima (o mínima) y restarlo del valor medio:

$$\Delta S = S_{\text{máx}} - S = (a + \Delta a)(b + \Delta b) - ab = a\Delta b + b\Delta a + \Delta a\Delta b$$

Y cabe razonar la posibilidad de despreciar el último término, mucho menor, como es lógico, que los otros dos. Algunos alumnos recurren a un tratamiento gráfico que permite llegar también muy fácilmente al mismo resultado.

La actividad A.22 está propuesta para practicar los conceptos introducidos a partir de los mismos valores para todos los alumnos, lo que facilita la discusión colectiva y permite llegar a los mismos resultados (480 ± 10)cm²

4.3. Estimación de la calidad de una medida

Una vez obtenido el resultado de una serie de medidas -expresado en forma $(D \pm \Delta D)$ unidades- ¿Cómo podría determinarse la calidad de la precisión conseguida? Esto es lo que plantea la siguiente actividad:

A.23. ¿Es buena una medida de longitud en que el error cometido sea de 1 mm? Discutir este ejemplo e indicar un procedimiento general para estimar la calidad de una medida

Comentarios A.23

Esta actividad conduce a ver la necesidad de comparar la imprecisión ΔV con el valor medido V , es decir, a la introducción de lo que se conoce como imprecisión relativa $\Delta V/V$.

Conviene llamar la atención sobre el hecho de que las actividades de este apartado 4. han permitido introducir los principales conceptos y definiciones operativas para la expresión de un resultado, a través del trabajo de los propios alumnos, partiendo de problemas concretos significativos. Resulta conveniente ahora proceder a una práctica reiterada de las ideas introducidas:

4.4. Práctica reiterada del cálculo de la imprecisión

A.24. Nos dicen que una cierta temperatura es de 25°. Calcular la imprecisión relativa de dicho resultado.

A.25. Con un calibre que aprecia 0.05 mm se ha medido el diámetro de una barra, obteniéndose el resultado de 2 cm. Expresar correctamente el resultado.

A.26. ¿Qué edad viene dada más exactamente: la de un bebé de 10 meses o la de un niño de 10 años?

Comentarios apartado 4.4.

Los resultados de A.24 (25 ± 1)°C y A.25 (2.00 ± 0.05)mm no plantean dificultades.

La A.26 provoca algunas respuestas incorrectas (puesto que «un año es más error que un mes») al no aplicar consecuentemente la idea de una imprecisión relativa.

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

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

A.27. Enumerar cuales podrían ser las características que convenga conocer de un instrumento para su correcta utilización.

A.28. El profesor proporcionará algún instrumento (por ejemplo un tornillo micrométrico o un cronómetro) para su observación y posterior manejo hasta plena familiarización. (Este tipo de actividad se proseguirá a lo largo del curso con los distintos instrumentos disponibles, incluyendo una iniciación al diseño de instrumentos).

Comentarios A.27 y A.28

Estas actividades están dirigidas a favorecer un manejo menos mecánico de los instrumentos del que es habitual. En efecto, los trabajos prácticos suelen incluir el manejo de toda una serie de instrumentos de medida como son el calibre, tornillo micrométrico, balanza, etc; pero a menudo se trata de propuestas de manipulación que apenas dejan margen a la iniciativa de los alumnos, con todos los inconvenientes que ello supone. Es posible, sin embargo, dar a su presentación una forma que permita un trabajo menos mecánico por parte de los alumnos. Así, la actividad A.27 lleva a una reflexión sobre cuales 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). Ello puede ser ocasión, además, para insistir en la expresión correcta de un resultado.

5. CONSTRUCCION E INTERPRETACION DE GRAFICOS COMO TÉCNICA DE ANALISIS DE RESULTADOS

Comentarios a este apartado

La construcción e interpretación de gráficos plantea habitualmente serias dificultades a los alumnos, que comenten todo tipo de errores. Conviene, pues, detenerse en este aspecto del trabajo científico. Las actividades que siguen no están pensadas, sin embargo, para su introducción sistemática en este tema. Puede ser más conveniente un tratamiento progresivo de los distintos tipos de relación entre variables y de las gráficas correspondientes a medida que surja la necesidad a lo largo del curso.

La interpretación de los datos experimentales obtenidos en un proceso de investigación suele, a menudo, pasar por su representación gráfica. Es preciso, pues, familiarizarse con las representaciones gráficas de las formas de relación más frecuentes entre dos variables A y B que, como veremos a lo largo del curso, son:

- a) $A = K \cdot B + K'$; b) $A = K/B$; c) $A = K \cdot B^2$; d) $A = K/B^2$
(donde K y K' representan constantes)

A.29. Dibujar cualitativamente las gráficas que se considere corresponden a las relaciones a, b, c y d recogidas arriba e interpretar su significado, es decir, el tipo de relación que indican entre A y B. Para encontrar la función que relaciona dos variables a partir de la representación gráfica, el mejor procedimiento es encontrar el cambio de variables adecuado que la transforme en línea recta, con lo que su ecuación $A = kB + k'$ queda perfectamente definida. Así, una representación gráfica como la de la figura 1 en la que B crece más rápidamente que A, hace pensar en una relación del tipo $B = kA^2$, pero para confirmarlo es preciso obtener una línea recta al representar B frente a A^2 (fig 2)

Fig. 1

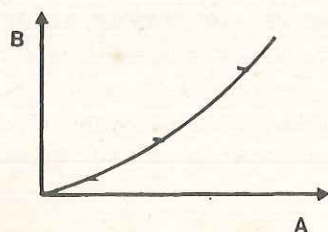
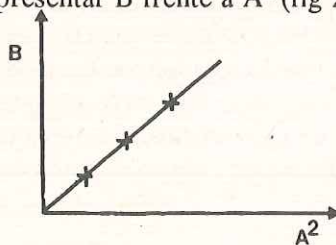


Fig. 2



Conviene familiarizarse con este tipo de cambios de variables:

A.30. Representar los valores de la tabla. Sugerid el cambio de variables que transforme la curva obtenida en una línea recta y verificad si ocurre así.

A (U.I)	1.18	1.31	1.65	2.00	2.26	2.65	2.86
B (U.I)	2.66	2.40	1.91	1.57	1.39	1.19	1.10

Una vez obtenida la línea recta, de ecuación general $y = kx + k'$, los valores de k' (ordenada en el origen) y de k (pendiente de la recta) se pueden obtener gráficamente. Veamos un ejemplo:

A.31. Se han obtenido los siguientes pares de valores para A y B:

A (U.I)	1	2	3	4	5
B (U.I)	1	4	7	10	13

Construid la representación gráfica y -dado que, como se verá, se trata de una línea recta- obtened k y k' gráficamente y escribid la ecuación $A = f(B)$

A.32. Obtener en cada caso, a partir de la tabla de valores, la función $B = f(A)$ que relaciona las magnitudes A y B. Conviene tener en cuenta que, habitualmente, los pares de valores obtenidos no se ajustan completamente a una función definida, debido a las inevitables imprecisiones. Es preciso, pues, recurrir a técnicas de ajuste que reduzcan al mínimo la dispersión de los valores experimentales respecto a la recta obtenida.

a)A(UI)	0	1.30	1.80	2.46	2.94	3.70	4.20	8.10
B(UI)	0	2.88	5.52	10.14	14.68	23.30	31.70	110.50
b)A(UI)	1.18	1.31	1.65	2.00	2.26	2.65	2.86	
B(UI)	2.66	2.40	1.91	1.57	1.39	1.19	1.10	
c)A(UI)	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00	9.00	10.00	
B(UI)	50.00	12.50	3.12	1.39	0.78	0.62	1.10	
d)A(UI)	4.3	8.2	27.0	38.5	45.0			
B(UI)	91.4	83.6	46.0	23.0	10.0			
e)A(UI)	6.00	9.00	21.00	34.00	41.00	74.00	90.00	
B(UI)	7.35	9.00	13.75	17.50	19.20	25.80	28.42	

5. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.33. Explicitar cualquier aspecto de la metodología científica que se vea reflejado en el texto adjunto que incluye citas textuales de B. Pascal junto con algunos resúmenes de otros fragmentos. A tal efecto proceded a cerrar entre paréntesis los diferentes fragmentos en que se vea alguno de dichos aspectos y adjuntarles un número indicativo. A continuación escribid en el reverso de la hoja los números indicativos señalando a que aspecto de la metodología científica corresponde cada uno de ellos:

Texto a analizar

«... Cuando una jeringa se sumerge en el agua, al elevar el pistón el agua asciende como en una bomba aspirante que no es, propiamente hablando, sino una larga jeringa.

... Si se introduce una botella llena de agua y boca abajo en un recipiente lleno de agua, el agua de la botella permanece sin caer.

Se admite que esta suspensión es debida al horror que la naturaleza tiene al vacío, que se produciría en el lugar que el agua deja al caer, puesto que el aire no podría sustituirla. Y ello se confirma puesto que si se practica una hendidura por donde el aire pueda penetrar, toda el agua cae incontenible»

Sin embargo, en 1638 Galileo había hecho notar que las bombas aspirantes de extracción de agua no podían elevarla más allá de una cierta altura. Y en 1644 Torricelli, uno de los discípulos de Galileo, concibió la idea de llenar un tubo de mercurio -unas trece veces más denso que el agua- y sumergirlo boca abajo en una cubeta llena también de mercurio: el líquido del tubo descendía hasta una altura de unos 76 cm (una treceava parte de la alcanzada por el agua) La interpretación de estos hechos, de acuerdo con las ideas de la época según las cuales el vacío era inconcebible, consistía en admitir la existencia de alguna materia sutil -cuya naturaleza había que descubrir- que llenaría la parte superior del tubo de mercurio.

Pero, para Pascal y otros físicos como Descartes, había que romper con la idea de horror al vacío y buscar otra razón de todos estos efectos. Esta razón había que buscarla en el hecho de que, con palabras de Pascal:

«... el peso de la masa del aire, actuando sobre todos los cuerpos, produce los efectos que se habían atribuido al horror al vacío.»

Pascal desarrolla a partir de aquí una explicación detallada de los distintos fenómenos enumerados a la luz de las nuevas ideas. Pero había que establecer de manera clara que era la presión atmosférica la que sostenía la columna de mercurio en el tubo de Torricelli. Para ello concibió que sería decisivo repetir la experiencia al pie de una montaña y en su cima, donde la presión del aire, por estar más cerca del límite superior de la atmósfera, debía ser menor, lo que se traduciría en un mayor descenso de la columna.

El resultado del experimento, realizado por un cuñado de Pascal, fue muy claro: la columna de mercurio era ciertamente más corta en la cima de la montaña. Ello permitió escribir a Pascal:

«... ¿Acaso la naturaleza aborrece más al vacío sobre los montes que en los valles, cuando hay humedad que cuando hace buen tiempo? ¿No lo odia igualmente en un campanario que en un granero o en un corral?»

Que todos los discípulos de Aristóteles reúnan lo más potente de los escritos de su maestro y sus comentadores, para explicar estas cosas por el horror al vacío, si es que pueden. Si no, que reconozcan que las experiencias son los maestros de la Física...»

A.34. Realizar una pequeña investigación tendente a establecer la expresión que determina el período de un objeto pendular:

1. Precisar el problema (indicando el tipo de péndulo, etc)
2. Emitir hipótesis acerca de los factores que determinan el período del péndulo y la forma en que influyen
3. Diseñar lo más detalladamente posible experimentos para contrastar las hipótesis emitidas. Considerar en particular la forma de proceder a la medida del período.
4. Proceder a realizar los experimentos
5. Analizar los resultados obtenidos

Comentarios A.34

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 en la construcción de los conocimientos científicos.

LA FÍSICA DEL SENTIDO COMUN

Sobre muchos de los temas que vamos a abordar a lo largo del curso, los alumnos poseen ya conocimientos previos con los que es preciso conectar. Con este propósito proponemos a continuación una serie de actividades que pueden contribuir a exponer algunas de las ideas que en este sentido se poseen en el área de la mecánica.

- A.1. Explicar qué se necesita para que un cuerpo permanezca en movimiento.
- A.2. Indicar cuáles de los siguientes movimientos pueden considerarse «naturales» y cuáles «forzados» o «violentos»:
- Caída libre de una piedra en el aire.
 - Movimiento ascendente de las rocas arrojadas por un volcán.
 - Descenso de un globo (del que se tira hacia abajo mediante un cable)
 - Ascensión del humo
 - Giro de la Luna alrededor de la Tierra.
- A.3. Se dejan caer dos cuerpos simultáneamente. ¿Qué puede decirse de los tiempos respectivos de llegada al suelo?
- A.4. Señalar las diferencias y semejanzas existentes entre los movimientos de los objetos terrestres (situados en la superficie de la Tierra o en sus proximidades) y el de los cuerpos celestes como la Luna.

Muchas de las ideas expuestas al contestar las actividades anteriores responden a una visión de sentido común, es decir a lo que la mayoría de las personas puede pensar a partir de las experiencias ordinarias que se repiten todos los días. Esta visión ha estado vigente también a lo largo de la historia durante más de 20 siglos, formando parte de lo que se conoce con el nombre de «paradigma aristotélico-escolástico».

A.5. Breve exposición por el profesor del paradigma aristotélico-escolástico, que constituye la expresión más acabada de la «física del sentido común».

Comentarios a la Física del sentido común.

Gran parte de la investigación sobre la didáctica de las Ciencias de estos últimos años ha estado centrada en el estudio de la «preconcepciones científicas» y los «esquemas conceptuales alternativos» de los alumnos (ver, p.e., Carrascosa, 1985). Esta investigación ha mostrado la necesidad de tomar dichos preconceptos como punto de partida del aprendizaje y orientar éste como cambio conceptual.

Es importante por ello, comenzar el curso «sacando a la luz» la visión que sobre el comportamiento de la materia poseen los alumnos. Las actividades elegidas permiten, sin un consumo excesivo de tiempo, que aparezcan algunos aspectos claves de la Física del sentido común contra la que se edifica -es preciso no olvidarlo- toda la Física clásica.

Surge así la idea de la tendencia al reposo de los objetos en «su lugar natural» (y consiguiente necesidad de fuerzas para que permanezcan en movimiento); la idea de que los sólidos tienden a caer mientras que los gases ascienden; de que cuanto más materia tenga un sólido más aprisa caerá, e incluso a pesar de la influencia de los medios de comunicación, la idea de una separación entre el comportamiento de los objetos celestes (movimientos continuos, sin fin, y no forzados, donde no se aplican las mismas leyes que

en la Tierra...) y los terrestres (tendencia al reposo, movimientos forzados, ...). La A.4 puede utilizarse para -siguiendo, por ejemplo, el texto de Holton y Roller (1972) o el de La evolución de la idea de materia (Gil, 1981)-, mostrar la coherencia de esta visión y valorarla positivamente. De este modo, cuando los alumnos se enfrenten en los capítulos siguientes con problemas que no pueden explicarse a la luz del paradigma que ahora se ha hecho explícito, podrán experimentar la necesidad de un cambio de ideas y más aún, comprender que el desarrollo científico ha supuesto, en ocasiones, enfrentamientos de concepciones, verdaderas batallas de ideas (¡y no sólo de ideas!) y, en definitiva, un dramatismo que no debe ser ocultado y que puede contribuir a proporcionar al estudio de estos temas un interés que las presentaciones puramente operativas habituales impiden.

CINEMATICA

INTRODUCCION

El estudio de la cinemática se ha realizado ya en cursos precedentes y algunas de las ideas y conceptos que se manejan en esta parte de la Física se utilizan habitualmente en el lenguaje corriente. Por ello y atendiendo a la importancia de contar con un hilo conductor claro y a ser posible elaborado con la participación de los alumnos, sería conveniente pues comenzar el tema planteando actividades como las siguientes:

A.1. Discutir brevemente qué se entiende por movimiento y cuál es el objeto de la cinemática.

Comentarios A.1.

Con esta actividad se pretende, además de contactar con las ideas de los alumnos, salir al paso de la confusión habitual de reducir el concepto de movimiento únicamente a su vertiente mecánica, introduciendo para el mismo, su significado más amplio, equivalente a «transformación de la materia». Ello permite comprender también por qué este tema es uno de los que primero se estudian en Física, precisamente porque la cinemática se ocupa de estudiar las transformaciones más simples, las formas más sencillas de movimiento: las asociadas al desplazamiento de los cuerpos sin cambios en su estructura interna.

A.2. Enunciar qué problemas podemos plantearnos en este tema, es decir, enumerar cuestiones de interés que convendría abordar y estudiar.

Comentarios A.2.

Los alumnos pueden plantear diversas cuestiones tales como: ¿De qué forma saber dónde se encuentra un móvil en un instante dado?. ¿Cuanto tardará en recorrer un trayecto determinado?. O referirse también a aspectos prácticos como los relacionados con el lanzamiento de proyectiles, etc. Debe quedar claro que algunas de las propuestas como las referidas a aspectos causales, serán contestadas a lo largo del curso, mientras que otras se dejarán para cursos superiores. El objeto de esta actividad es fundamentalmente justificar el índice que se expone a continuación, procurando que los mismos alumnos participen en su elaboración:

INDICE

1. Determinación del estado de movimiento o reposo de un cuerpo.
2. Magnitudes necesarias para la descripción de un movimiento.
 - 2.1 Determinación de la posición.
 - 2.2 Cambios de posición.
 - 2.3 Determinación de la rapidez con que varía la posición.
 - 2.4 Variaciones de la rapidez con que cambia la posición: El concepto de aceleración.
3. Establecimiento de la ecuación de un movimiento. Estudio de algunos tipos posibles de movimiento.
4. Investigación de la naturaleza de algunos movimientos reales.
5. Ejercicios y problemas.
6. Actividades complementarias.
7. Anexo: Introducción al cálculo vectorial.

1. DETERMINACION DEL ESTADO DE MOVIMIENTO O REPOSO DE UN CUERPO.

A.3. ¿Está la pizarra de la clase en reposo o en movimiento?

Comentarios A.3.

Se trata de una actividad tendente a dejar claro el carácter relativo del movimiento, introduciendo el concepto de sistema de referencia y justificando su necesidad. La actividad puede completarse preguntando a los alumnos si conocen algún sistema de referencia en reposo absoluto, dando el profesor una breve explicación sobre los sucesivos intentos que históricamente se hicieron para la detección de tal sistema y el fracaso que siempre acompañó a los mismos.

A.4. Dibujar la trayectoria de la Luna cuando se toma como sistema de referencia: a) La Tierra. b) El Sol.
c) Un satélite artificial que gira en torno a la Tierra situado en la misma órbita que la Luna y con la misma velocidad de giro que ésta.

Comentarios A.4.

Es una actividad de gran interés para mostrar el carácter relativo del movimiento. En el caso del movimiento de la Luna cuando se toma el Sol como sistema de referencia a veces los alumnos dibujan una trayectoria de forma helicoidal como se muestra en la figura (1a) y no la forma más correcta (figura 1b). El profesor deberá aclarar en este caso que la velocidad de la Luna alrededor de la Tierra es menor que la supuesta implícitamente en 1a.

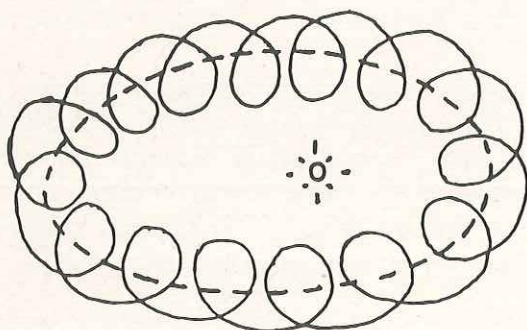


Fig. 1a

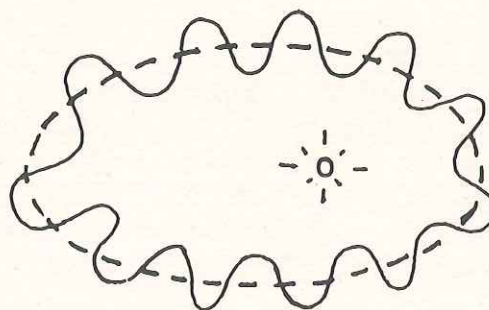


Fig. 1b

2. MAGNITUDES NECESARIAS PARA LA DESCRIPCION DE UN MOVIMIENTO

2.1 Determinación de la posición.

A.5. Proponer formas sencillas de dar la posición de un objeto que puede considerarse puntual, así como el instante en que la ocupa. Considerar para ello los siguientes casos:

- La posición de un coche en un instante dado de su recorrido por una carretera.
- La posición de una alumna en clase.
- La posición de una mosca en un instante dado, que se halla volando en la clase.
- La posición de una de las manecillas de un reloj.

Comentarios A.5.

Los alumnos con esta actividad han de elegir por una parte un sistema de referencia adecuado (espacio-temporal). Por otra parte los ejemplos escogidos permiten ver fácilmente la necesidad del tratamiento vectorial -es decir, más de un valor- en algunos de los casos (b y c), mientras que en otros (a y d) es mucho más sencillo un tratamiento escalar a lo largo de la trayectoria. En el caso d surge la posibilidad de conocer la posición mediante un ángulo. Pese a ello en este nivel no consideramos imprescindible el uso de magnitudes angulares ni tampoco un tratamiento vectorial desarrollado. No obstante, si que parece conveniente un tratamiento cualitativo de los aspectos vectoriales, para poder comprender el concepto de aceleración. Dicho tratamiento se reduce básicamente al concepto de magnitud vectorial y a la suma y resta de vectores gráficamente. (Ver anexo al final del tema).

A.6. Determinar haciendo las medidas pertinentes, la posición de distintos alumnos de la clase (una vez definido el sistema de referencia adecuado).

Comentario A.6.

Es una actividad de manejo que pretende responder a la necesidad de «materializar» los conceptos con los que se va a trabajar. Puede completarse pidiendo el profesor a algún alumno, que ocupe la posición que se le indique.

A.7. Determinar la posición de un objeto situado en A, B, C (Fig 2, 3)

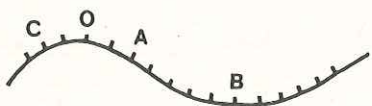


Fig. 2

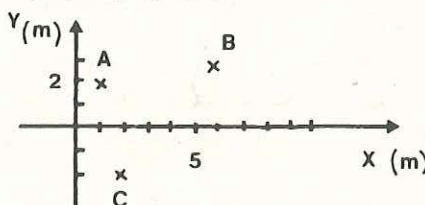


Fig. 3

Comentarios A.7.

Mediante la actividad anterior, los alumnos pueden ver cómo la posición de un móvil sobre la trayectoria puede venir dada por un número negativo. También es el momento de que el profesor se refiera aquí a algunas características de las magnitudes vectoriales (módulo, dirección y sentido)

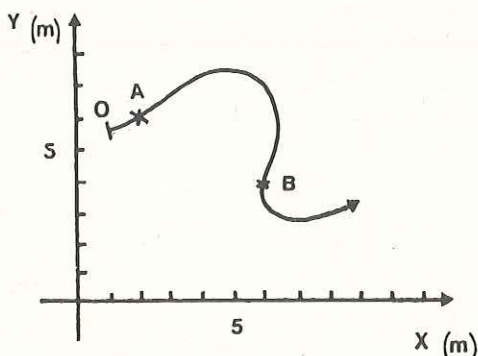
2.2 Determinación del cambio de posición.

A.8. Ya sabemos expresar la posición de un objeto. Concebir ahora una magnitud que permita determinar los cambios de posición experimentados por un móvil. Considerar para ello, a título de ejemplo, el paso desde la posición A a la posición B, en los dos casos de la actividad anterior.

Comentarios A.8.

Esta actividad debe permitir la introducción de las magnitudes $\Delta e = e_B - e_A$, como el «desplazamiento sobre la trayectoria» y de $\Delta r = \vec{r}_B - \vec{r}_A$ como el «vector desplazamiento», siempre sencillo de dibujar si se tiene en cuenta que coincide con una flecha que va directamente desde la posición inicial a la final. Es conveniente destacar con ejemplos apropiados cómo Δe puede ser un número negativo y no coincidir necesariamente con la distancia total recorrida, etc. La actividad podría completarse pidiendo a algún(a) alumno(a) que realice los cambios de posición que se le indiquen. El cálculo numérico del vector desplazamiento se puede hacer simplemente aplicando el teorema de Pitágoras, aunque también puede dejarse para el curso siguiente, limitándose aquí a obtener gráficamente dicho vector. En cualquier caso es preciso clarificar y practicar suficientemente el tratamiento vectorial que se decida introducir. En el anexo que se acompaña a este tema se incluyen algunas actividades para una introducción gráfica de algunas operaciones sencillas con vectores, para que el profesor haga uso de ellas cuando convenga.

A.9. Un objeto se mueve a lo largo de la trayectoria adjunta pasando por los puntos A y B. Se pide:



- a) Expresar gráfica y analíticamente los vectores de posición \vec{r}_A y \vec{r}_B y dibujar el vector desplazamiento Δr .
- b) Se han medido las distancias sobre la trayectoria a un punto O de la misma, obteniendo $e_A = 1m$ y $e_B = 10m$. Hallar Δe .

A.10. Un alumno se mueve siguiendo la trayectoria rectilínea indicada en la fig 4, pasando de A a B y volviendo luego hasta C.

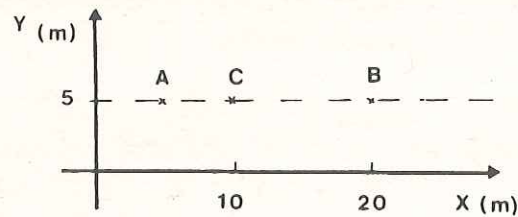


Fig. 4

- Dibujar los vectores de posición \vec{r}_A , \vec{r}_B y \vec{r}_C .
- Tomando como origen sobre la trayectoria el punto de coordenadas (0, 5) m; dar los valores de la posición sobre la trayectoria e_A , e_B y e_C .
- Dibujar el vector desplazamiento entre A y B, hallando su módulo. Calcular también el valor del desplazamiento sobre la trayectoria.
- Repetir el apartado anterior pero esta vez considerando el desplazamiento desde B hasta C (es decir cuando vuelve).
- Hallar el valor del desplazamiento sobre la trayectoria y el valor de la distancia total recorrida desde que el cuerpo sale de A hasta que pasa ya de vuelta, por el punto C.

Comentarios A.9 y A.10.

Con estas actividades se pretende el estudio de movimientos, mediante el uso en paralelo del tratamiento escalar y vectorial, saliendo al paso de confusiones entre ambos, dejando claras las relaciones entre el vector desplazamiento y el desplazamiento sobre la trayectoria, etc. Las actividades deben completarse para ello con preguntas del profesor sobre en qué casos ocurrirá que el módulo de Δr coincida con el valor (absoluto) de Δe y en que casos no. Los alumnos dan sin dificultad la respuesta correcta que ya se halla implícita en las dos actividades (es decir, coinciden en trayectorias rectilíneas). Normalmente el profesor ha de señalar que también se dará la misma coincidencia cuando el intervalo de tiempo considerado sea lo suficientemente pequeño (tienda a 0), sea cual sea la forma de la trayectoria. Para esto último podría pedírseles a los alumnos que consideren qué es lo que sucede con el valor (absoluto) de Δe y con el módulo de Δr en la figura de la A.9, cuando el Δt se va reduciendo. Finalmente indicar, que el apartado e) de la A.10, permite salir al paso de la confusión habitual entre Δe y distancia total recorrida.

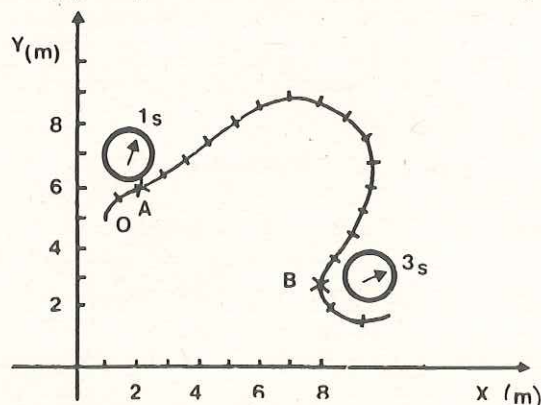
2.3 Determinación de la rapidez con que varía la posición.

A.11. Inventar razonadamente distintas magnitudes que nos permitan averiguar lo aprisa que un cuerpo ha realizado un cambio de posición.

Comentarios A.11.

Es de esperar que los alumnos propongan aquí las expresiones $\Delta e/\Delta t$ y también posiblemente $\overline{\Delta r}/\Delta t$. Hay que resaltar entonces el carácter de valores medios de ambas expresiones, indicar unidades, etc. También es ocasión de referirse a las diferencias entre el significado físico del concepto de rapidez media y el de velocidad media, señalando no obstante que los términos velocidad y rapidez se utilizan a menudo indistintamente y que es necesario prestar atención al contexto.

A.12. Un móvil se desplaza a lo largo de la trayectoria adjunta (Fig 5), pasando por los puntos A y B en los instantes que marcan los relojes. Se pide: a) Calcular el valor de la rapidez media. b) El módulo de la velocidad media. c) ¿Por qué no coinciden ambos valores?. ¿En que caso particular coincidirían?



- A.13. Expresar que es lo que queremos decir cuando afirmamos que la rapidez media de un coche que ha ido de Valencia a Barcelona ha sido de 90 km/h.
- A.14. Un ciclista recorrió 35 Km en una hora. Una moto empleó 5 horas y media en recorrer 350 km, un avión hizo 513 km en 35 minutos y Ben Johnson hizo en las olimpiadas de Seul los 100 m en 9.79 s. Calcular la rapidez media en cada caso y ordenarlas de menor a mayor.

Comentarios A.12; A.13; A.14.

Son actividades destinadas a la mejor comprensión y manejo de los conceptos introducidos. En la A.12, se plantea la relación existente entre el módulo de la velocidad media y el valor (absoluto) de la rapidez media. Conviene insistir aquí en el diferente significado físico entre ambas magnitudes, y hacer ver utilizando el ejemplo propuesto en la figura 5, cómo es posible que la rapidez media tenga un valor absoluto elevado mientras que el módulo de la velocidad media sea, para el mismo movimiento, comparativamente menor. Los alumnos señalan que ambos valores coincidirían en el caso de que la trayectoria fuese rectilínea. Es interesante que además se reflexione sobre el hecho de que también coincidirán cuando el Δt , se reduzca suficientemente sea cual sea entonces la forma de la trayectoria. Ello aún sin hablar todavía de valores instantáneos de la velocidad y de la rapidez, nos permitirá que los alumnos puedan entender mejor estos conceptos posteriormente. La A.13, incide sobre la comprensión del significado físico de las magnitudes introducidas. Los alumnos señalan sin muchas dificultades que representa el valor medio de lo aprisa que el coche ha recorrido la carretera que separa a ambas ciudades y no que necesariamente haya recorrido 90 Km cada hora o que lo más seguro es que no haya ido siempre a 90 Km/h, pero que es equivalente, de modo que si hubiese ido siempre con esa rapidez habría hecho el trayecto en un tiempo igual al que realmente ha empleado, etc, (actividades de este tipo serán frecuentes cada vez que se introduzcan nuevas magnitudes a lo largo del curso). Finalmente la A.14 es una simple actividad de manejo en donde se han de realizar algunos cálculos numéricos y practicar el cambio de unidades.

- A.15. Las expresiones manejadas en las actividades anteriores no nos dicen gran cosa sobre el movimiento de un objeto, ya que como hemos visto sólo son valores medios. Sería mejor conocer los valores en cada instante. Sugerir cómo podríamos calcular el valor de la rapidez en un instante dado. Idem de la velocidad.

Comentarios A.15.

Por supuesto con esta actividad no pretendemos que los alumnos se pongan a derivar o a calcular límites. Tan sólo se persigue provocar el razonamiento de que si consideramos intervalos de tiempo cada vez más pequeños (que incluyan el instante preciso considerado), ocurrirá que, por ejemplo, la rapidez media se parecerá más y más a la rapidez en ese instante. Ello nos permitirá justificar la expresión de $V = \lim V_m$ cuando Δt tiende a cero, o lo que es lo mismo: $V = \lim \Delta e / \Delta t$ cuando Δt tiende a cero. De forma análoga puede justificarse la expresión correspondiente a la velocidad instantánea. Además, apoyándonos en sencillas representaciones gráficas, se puede razonar entonces que el vector velocidad instantánea siempre ha de tener la misma dirección y sentido que el vector $\Delta \vec{r}$ cuando Δt tiende a cero (es decir tangente a la trayectoria y en el mismo sentido que el movimiento). Esto sería ya suficiente en este nivel, y permitiría a los alumnos comprender que el valor absoluto de la rapidez instantánea y el módulo de la velocidad instantánea coinciden siempre sea cual sea la forma de la trayectoria. Si se quiere profundizar más en el manejo de los valores instantáneos, proponemos a continuación algunas actividades que podrían servir para este objetivo. No obstante insistimos en el carácter optativo de las mismas.

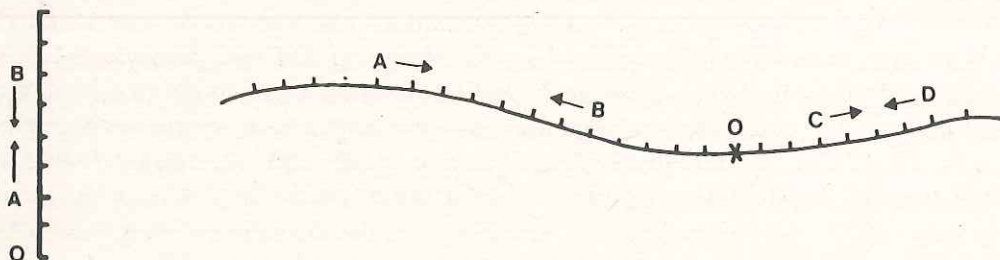
- A.1.(optativa) La posición de un móvil sobre la trayectoria viene dada por la ecuación: $e = 4t - 2$ m (si t en s). Obtener:
- Su rapidez media entre los instantes $t=2$ s y $t=5$ s.
 - Idem entre $t=3$ s y $t=4$ s.
 - Idem entre los instantes t y $(t + \Delta t)$ s
 - A partir de la expresión obtenida en c, razonar cual será la expresión para la rapidez en un instante dado t (es decir cuando Δt tiende a 0) y utilizarla para calcular el valor de la rapidez en el instante $t = 3.5$ s

- A.2. (optativa). La posición de un móvil sobre la trayectoria viene dada por la ecuación: $e = 4t^2 - 2$ (m si t en s). Obtener:
- Su rapidez media entre los instantes $t=2$ s y $t=5$ s.
 - Idem entre $t=3$ s y $t=4$ s.
 - Idem entre t y $(t + \Delta t)$ s.
 - A partir de la expresión obtenida en c, razonar cual sería la expresión para calcular la rapidez en el instante t (es decir cuando Δt tiende a 0) y utilizarla para calcular el valor de v en el instante $t=3.5$ s.

Comentarios A.1 y A.2 (optativas).

Se trata de dos actividades optativas para profundizar en el concepto de rapidez instantánea. No es necesario hablar para nada de límites en su resolución, y los alumnos pueden ver bastante bien cómo al reducirse el intervalo de tiempo, la rapidez media se acerca más al valor instantáneo. Lógicamente también es posible la determinación de la rapidez instantánea mediante un tratamiento gráfico (trazando tangentes en los diagramas $e-t$ y atendiendo a su valor).

- A.16. Asignar razonadamente el valor de la posición y el signo que corresponda a la rapidez de los móviles A, B, C y D en los casos siguientes: (En todos ellos el valor absoluto de la rapidez en el instante considerado es de 8 m/s. La trayectoria está dividida en m).



Comentarios A.16.

En primer lugar al intentar resolver la actividad los alumnos perciben la necesidad de establecer un criterio de signos. Muchos alumnos tienen gran tendencia a asignar siempre como sentido positivo hacia la derecha del origen y negativo al contrario. El profesor puede utilizar esta actividad para insistir sobre el carácter totalmente arbitrario de esa decisión, pidiendo a los alumnos que tomen esta vez sentido negativo hacia la derecha del origen. Es fundamental que los alumnos comprendan (mediante la utilización de la expresión $V = \lim \Delta e / \Delta t$ cuando Δt tiende a 0) que siempre que un objeto se mueva de forma que el cambio de posición sea positivo, es decir cuando se mueva hacia valores de la posición crecientes (lo cual depende del criterio de signos escogido arbitrariamente), la rapidez resultará ser un número positivo y viceversa.

Realmente una vez asimilado el razonamiento anterior, es muy sencillo recordar que el signo de la rapidez no depende de que el cuerpo se mueva hacia derecha o izquierda ni para arriba o abajo, sino del criterio de signos que hayamos tomado a partir del origen, criterio que ya no hace falta cambiar, de forma que si el móvil va en el sentido escogido como positivo, su rapidez será positiva y si por el contrario se mueve en sentido negativo su rapidez será también negativa.

Conviene también que los alumnos expresen el significado físico de las magnitudes introducidas mediante la consideración de algún valor concreto. En este sentido el profesor podría preguntar qué significa que el valor de la rapidez instantánea sea de -8 m/s. Una respuesta aceptable sería por ejemplo el decir que de mantener constante esa rapidez la distancia del móvil al origen variará en 8 m cada segundo, moviéndose en el sentido que arbitrariamente hemos escogido como negativo (valores de la posición decrecientes) y viceversa para 8 m/s.

2.4 Variaciones de la rapidez con que cambia la posición

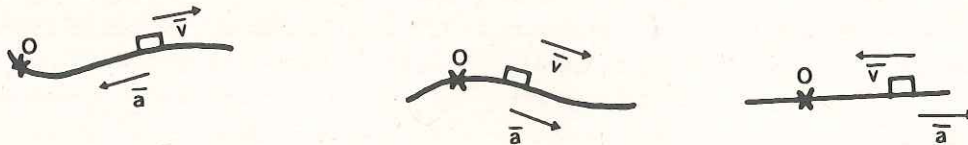
- A.17. Introducir razonadamente magnitudes que permitan calcular lo aprisa que un móvil experimenta cambios de velocidad.

Comentarios A.17.

Dado que el mismo tipo de razonamiento ha sido hecho en el apartado anterior con la rapidez y la

velocidad, es de esperar, y así sucede, que los alumnos introduzcan aquí las expresiones $a_m = \Delta V / \Delta t$, y $\bar{a}_m = \Delta \bar{V} / \Delta t$; así como sus correspondientes al cálculo de los valores instantáneos. Tampoco se presentan problemas en el establecimiento de las unidades. Este puede ser el momento también para resaltar que dado que los valores medios apenas suministran información sobre el movimiento, haremos uso siempre de valores instantáneos de la aceleración. Sin embargo, dado que en este nivel el valor de la aceleración va a ser siempre constante o cero, interesa destacar que la aceleración media sobre la trayectoria siempre coincidirá en estos casos con su valor en cada instante lo que facilitará algunos cálculos.

A.18. Asignar razonadamente el signo que corresponda a la aceleración sobre la trayectoria en los siguientes casos: (En todos ellos el valor absoluto de la aceleración del móvil en el instante dado es de 5 m/s^2)



Comentarios A.18.

Se trata de una actividad similar a la A.16. Aquí también es necesario definir primeramente el criterio de signos. Muchos alumnos tienen la fijación funcional de pensar que siempre que un móvil frena la aceleración tiene que ser negativa. Para salir al paso de esta idea, el profesor puede pedir que se tome como sentido positivo hacia la izquierda. En estas condiciones (utilizando la expresión $a = \lim \Delta V / \Delta t$ cuando Δt tiende a cero) es fácil razonar que siempre que ΔV resulte positivo, es decir la rapidez crezca, el valor de la a será también positivo y viceversa. Ello significa que cuando el móvil frene el valor de la aceleración sobre la trayectoria tendrá signo contrario al que tenga la rapidez, como se puede razonar mediante el primer y tercer caso. Por el contrario si el móvil no frena y hay aceleración, la rapidez podrá ser cada vez más positiva o más negativa (según criterio escogido en los sentidos), pero la aceleración siempre tendrá en este caso el mismo signo que la rapidez.

Una vez comprendido el razonamiento anterior resulta muy sencillo percatarse de que el signo de la aceleración no es a priori positivo ni negativo, es decir no tiene nada que ver con que el móvil vaya cada vez más aprisa o más despacio, a menos que previamente y de forma arbitraria se haya definido el sentido que se toma como positivo (negativo) de la trayectoria.

Finalmente, conviene detenerse una vez más en el significado físico de las magnitudes que se introducen, evitando que se memoricen fórmulas sin sentido y que se den definiciones erróneas como decir que la aceleración es la velocidad partida por el tiempo, identificar una rapidez grande con tener aceleración, etc. El profesor puede preguntar por ejemplo que quiere decir que la aceleración sobre la trayectoria a , de un móvil en un instante dado sea de 5 m/s^2 . Una respuesta correcta sería afirmar que con ello queremos indicar que de mantenerse constante dicha aceleración, cada segundo transcurrido, la rapidez con que se mueve el cuerpo aumentaría regularmente en 5 m/s .

A.19. Como sabemos, la velocidad de un móvil puede cambiar tanto en módulo como en dirección. Supongamos un coche que va por una carretera recta aumentando constantemente su velocidad. Justificar hacia donde irá el vector aceleración. Idem para el caso de que el coche disminuya de velocidad.

Comentarios A.19.

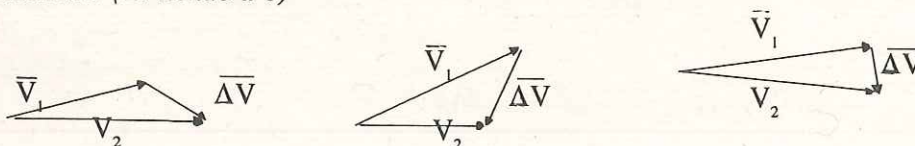
Se trata de una actividad sencilla y de gran importancia. Conviene trabajar sobre la misma poniendo distintos ejemplos y tratando de materializarlos. Puede recurrirse para ello a sacar una alumna a la pizarra y pedirle que se mueva en una dirección determinada. En un instante dado el profesor procederá a empujarle en un sentido y en otro (los alumnos intuyen que el empujón y la aceleración instantánea provocada están directamente relacionados), de forma que se vea cómo para que sólo cambie el módulo de la velocidad, sin que lo haga su dirección, es necesario que la a sea tangente a la trayectoria, es decir, tenga la misma dirección que V . En cuanto el empujón se desvíe un poco, se puede ver fácilmente cómo la velocidad, además de cambiar en módulo, cambia también de dirección. Todo ello se puede apoyar con la utilización de esquemas gráficos apropiados en donde se maneje la resta de vectores velocidad en los dos casos posibles y se muestre la dirección y el sentido de ΔV cuando Δt tiende a cero (que coincidirá con la dirección y sentido

de a y también del empujón). El profesor aprovechará la ocasión para destacar que la dirección y sentido del vector a , no tienen por qué coincidir en general con los de la \vec{V} .

A.20. De acuerdo con los resultados de la actividad anterior, señalar a título de hipótesis, qué dirección tendrá que tener el vector aceleración instantánea, para que cambie sólo la dirección de la velocidad pero no se modifique su valor.

Comentarios A.20.

Consiste en una actividad bastante compleja. Los alumnos que han comprendido la anterior, pueden intuir la necesidad de que «nada» del vector \vec{a} debe ser tangente a \vec{V} (es decir el vector aceleración no tiene que tener ninguna componente paralela a la velocidad), y que por lo tanto, la dirección del vector \vec{a} tendría que ser perpendicular a \vec{V} . El profesor puede apoyar y desarrollar esta idea, no sólo mediante la escenificación de algún caso concreto (por ejemplo dándole a un alumno la mano con el brazo extendido y pidiéndole que se desplace, lo que fácilmente se puede traducir en un movimiento circular uniforme, etc) sino también, mediante la utilización de esquemas gráficos sencillos y adecuados como los que se exponen a continuación: (Δt tiende a 0)



A.21. Resumiendo lo visto anteriormente, señalar qué dirección debe tener la aceleración instantánea \vec{a} para que:

- Sólo varíe el módulo de la velocidad sin cambiar su dirección.
- Varíen ambas cosas.
- Varíe sólo la dirección de la velocidad sin cambiar el módulo.

A.22. Construir un cuadro con todas las magnitudes introducidas hasta aquí, indicando sus relaciones, unidades, carácter escalar o vectorial, etc.

Comentarios A.21 y A.22.

Se trata de dos actividades de síntesis, a modo de recapitulación, que van a permitir tener una visión rápida y global de lo que se ha visto y a facilitar una mayor orientación en el trabajo de los alumnos.

3. ESTABLECIMIENTO DE LA ECUACION DE UN MOVIMIENTO. ESTUDIO DE ALGUNOS TIPOS POSIBLES DE MOVIMIENTO

Hasta aquí nos hemos limitado a introducir las magnitudes necesarias para el estudio del movimiento. Hemos visto por ejemplo cómo calcular el cambio de posición de un objeto, de su velocidad, etc. El problema que nos vamos a plantear ahora es precisamente el contrario: conocida la aceleración determinar la velocidad del móvil, deducir la ecuación de su movimiento, es decir la ecuación que nos permitirá conocer su posición en cualquier instante $\vec{r} = f(t)$ ó $e = f(t)$. Esto último, puede ser a veces bastante complejo. No obstante en este nivel únicamente abordaremos los casos más sencillos y siempre mediante un tratamiento escalar a lo largo de la trayectoria, dejando el cálculo de $\vec{r} = f(t)$ para cursos superiores

A.23. Enumerar posibles tipos de movimiento mecánico, dando ejemplos de los mismos.

Comentarios A.23.

Los alumnos se refieren -sobre todo en forma de ejemplos- a diversos tipos de movimiento, pero en este curso conviene limitarse al estudio de movimientos de trayectoria conocida -lo que permite un estudio escalar, más sencillo- de aceleración nula o constante, dejando para otros cursos el estudio de otros tipos de movimientos más complejos. Es conveniente completar la actividad proponiendo la materialización de los dos tipos de movimiento, para lo que se puede recurrir a sacar a un alumno a la pizarra y pedirle que simule varios casos.

Veamos ahora, de una forma general, cómo puede obtenerse la ecuación de la rapidez $V = f(t)$ y la del espacio $e = f(t)$, para un movimiento que se estudia a lo largo de la trayectoria.

A.23 bis. Obtener la ecuación de la rapidez $V = f(t)$ suponiendo conocido el valor de la aceleración media a_m . Obtener igualmente la ecuación de movimiento $e = f(t)$ suponiendo conocida la rapidez media V_m .

Comentarios A.23 bis.

Con esta actividad se pretende que los alumnos obtengan, a partir de las definiciones operativas de a_m y V_m , las ecuaciones $V = V_0 + a_m (t - t_0)$ y $e = e_0 + V_m (t - t_0)$ de carácter completamente general, y que serán utilizadas después por ellos mismos para particularizar en el caso de los movimientos uniforme y uniformemente acelerados, transformándolas adecuadamente.

A.24. Proceder a completar un cuadro como el adjunto, para el estudio de un movimiento a lo largo de su trayectoria, siguiendo para ello las indicaciones del profesor.

	V	a	a_m	$V = f(t)$	V_m	$e = f(t)$	Represtaciones gráficas
Movimiento uniforme							
Movimiento uniformemente acelerado							

Comentarios A.24.

Se trata de una actividad abierta en donde el papel de guía del profesor es fundamental, las formas de llegar a los resultados suelen ser varias, como ocurre por ejemplo con la deducción de la ecuación del movimiento $e = f(t)$ para el caso del M.U.A. que puede hacerse mediante consideraciones geométricas en la gráfica $e-t$, o bien simplemente a partir de $\Delta e = V_m \cdot \Delta t$, siendo $V_m = (V_0 + V)/2$. (Esta última expresión habría que razonarla con los alumnos y dejar claro que sólo es válida cuando la V varía de forma regular). Es importante insistir en el movimiento circular uniforme y hacer que los alumnos comprendan que en dicho movimiento aunque la aceleración sobre la trayectoria es nula por no cambiar la rapidez, el vector aceleración no es nulo ya que la velocidad cambia constantemente y de forma regular de dirección, por lo que el vector \vec{a} , ha de ser en este caso perpendicular a la trayectoria en todo momento.

A.25. Una bicicleta se desplaza a 10 m/s. Escribir la ecuación $e = f(t)$ para este movimiento.

A.26. Un móvil va constantemente a 3 m/s. Sabiendo que en el instante $t = 2$ s, se encuentra en la posición $e = 8$ m. Hallar su ecuación de movimiento.

Comentarios A.25 y A, 26.

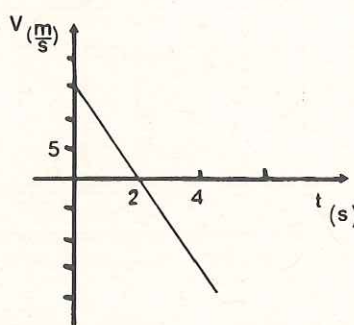
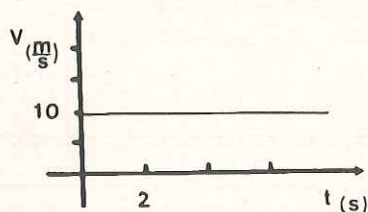
En la primera de estas dos actividades algunos alumnos suelen escribir simplemente $e = 10t$. Sería necesario que el profesor hiciese recapacitar sobre la conveniencia de hacer un esquema gráfico y definir un sistema de referencia, así como de la necesidad de conocer cual es el instante en que se empieza a contar el tiempo y la posición de la bicicleta en ese instante, destacando que sin esos datos no se puede escribir la ecuación del movimiento de la bicicleta a menos que se suponga que en el instante $t = 0$ s pasó por el origen de la trayectoria (es decir $t_0 = 0$ y $e_0 = 0$). En la siguiente, no suele haber muchas dificultades si se ha realizado correctamente la anterior, en hacer un esquema gráfico, y establecer la ecuación $e = 8 + 3(t - 2)$ m. El profesor puede completar esta actividad pidiendo a los alumnos que calculen dónde estaba el móvil en el instante $t = 0$ s y que construyan cuantitativamente las gráficas $e-t$ y $V-t$ correspondientes. Ambas son actividades de manejo.

- A.27. Un móvil se mueve con un movimiento uniformemente acelerado, con las siguientes características: La trayectoria es recta. $v_0 = 10 \text{ m/s}$; $t_0 = 0 \text{ s}$; $e_0 = 20 \text{ m}$; $a = -2 \text{ m/s}^2$. Se pide:
- Explicar cualitativamente dicho movimiento.
 - Escribir las ecuaciones $v = f(t)$ y $e = f(t)$.
 - Construir las gráficas $e-t$ y $v-t$ e interpretarlas.
 - El móvil considerado se mueve sobre una recta paralela al eje X de un sistema de coordenadas cartesianas a 3 m del origen. Dibujar su trayectoria y señalar sobre ella mediante cruces la posición del móvil en los instantes: 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 s. Interpretar el esquema obtenido.

Comentarios A.27.

Consiste en una actividad de manejo. En el apartado a) sería interesante pedir a un alumno que simulara el movimiento delante de la clase. Es también importante que los alumnos perciban que una cosa es la gráfica $e-t$ y otra muy distinta es la trayectoria descrita por el móvil, por ello se ha incluido el apartado d), al cual hay que prestarle la necesaria atención.

- A.28. En las dos gráficas siguientes se representa el movimiento de dos móviles que en el instante inicial $t=0$, se encontraban en la posición $e=0 \text{ m}$. Interpretar cada uno de los movimientos representados y a continuación proceder a construir la gráfica $e-t$ de cada uno de ellos.



Comentarios A.28.

Consiste en otra actividad de manejo. Es conveniente que los alumnos la resuelvan primeramente de forma cualitativa sin hacer ningún cálculo. Es decir, tras la interpretación del movimiento representado en cada gráfica, se procede a título de hipótesis a «traducir» dicho movimiento al diagrama $e-t$ y luego ya se pueden extraer los datos necesarios de las gráficas y proceder a la construcción cuantitativa de lo que pide el problema (a modo de confirmación de las hipótesis). Las actividades en donde se construyen o interpretan gráficas, juegan un papel insustituible como instrumento para la correcta comprensión de los conceptos introducidos, visión global de fenómenos, etc.

- A.29. Dado el campo de validez de las siguientes expresiones que se manejan frecuentemente: $e = vt$; $a = v/t$; $e = 1/2 at^2$.
- A.30. Un coche que se mueve a 108 km/h frena con una aceleración constante de 5 m/s^2 . Calcular el tiempo que tarda en pararse y la distancia total que recorre.

Comentarios A.29 y A.30.

La primera de estas actividades tiene como objetivo específico contribuir a que los alumnos entiendan que cada fórmula utilizada en Física, tiene un determinado campo de validez y no incurran como sucede a menudo en emplear una misma expresión para diferentes situaciones en las que ello no puede hacerse por no cumplirse los supuestos, condiciones etc, bajo los cuales se ha deducido. Además viene a salir al paso de algunas ideas erróneas como la de que la velocidad es «el espacio partido por el tiempo» o la aceleración la velocidad partida por el tiempo, etc. En cuanto a la A.28, se trata de una simple actividad de manejo de las expresiones introducidas, en donde se han de realizar algunos cálculos numéricos. Es conveniente comenzar a habituar a los alumnos ya a resoluciones literales, verbalizar lo que se hace, analizar los resultados, etc. (Nos remitimos al apéndice de resolución de problemas como investigación).

4. INVESTIGACION DE LA NATURALEZA DE ALGUNOS MOVIMIENTOS REALES.

Todos los conceptos y ecuaciones que se han introducido hasta aquí para el estudio del movimiento en general, son invenciones que han de mostrar su validez en su potencia en el tratamiento de los movimientos reales, es decir, su capacidad para describirlos y predecir resultados contrastables experimentalmente. Abordaremos en este curso, un ejemplo especialmente importante desde el punto de vista histórico y práctico: «La caída de graves».

A.31. ¿Qué puede decirse partiendo de las observaciones y de las experiencias cotidianas, sobre el movimiento de caída de los cuerpos?

Comentarios A.31.

Los alumnos suelen referirse a que se trata de un movimiento no uniforme, es decir acelerado, planteándose la cuestión de si la rapidez crece o no regularmente (es decir si la aceleración es o no constante). Otro núcleo de discusión que aparece en los grupos de trabajo, es respecto a la influencia de la masa. Muchos alumnos piensan que cuanto mayor sea esta, antes llegará el cuerpo al suelo. Algunos incluso precisan que si la masa aumenta al doble el tiempo de caída (desde una cierta altura) se reduce justo a la mitad. Otros alumnos se manifiestan en desacuerdo con estas afirmaciones y se refieren al papel jugado por el rozamiento con el aire, en el cual influye mucho la forma del cuerpo, que puede hacer que este siga trayectorias no rectilíneas y a veces muy complicadas, como por ejemplo cuando se suelta un folio. Algunos alumnos recordando lo visto en EGB, llegan a decir que en ausencia de rozamiento con el aire todos los objetos, sea cual sea su masa, llegan al suelo en el mismo tiempo, cuando se dejan caer desde la misma altura. Suele tratarse sin embargo de un aprendizaje puramente memorístico que no implica que realmente se haya comprendido el problema, y no conviene que el profesor se decante en este momento a su favor o en contra, sino que se recogerá como una hipótesis a contrastar.

Se comprende la complejidad que supone estudiar el problema de una manera global y la necesidad de proceder a un análisis del mismo evitando en lo posible que intervenga el rozamiento. El profesor puede recordar aquí que de esta forma pensó el propio Galileo y referirse también a la importancia de las simplificaciones a la hora de proceder a una investigación. El problema queda pues precisado al «estudio cinemático de la caída de los cuerpos en ausencia de rozamiento», debiéndose entonces solucionar previamente el evidente papel jugado por la fricción con el aire. En estas condiciones y al final de toda la discusión, las hipótesis que suelen aparecer, pueden reducirse esencialmente a dos:

- a) Se trata de un movimiento de rapidez creciente, y al parecer uniformemente acelerado.*
- b) La velocidad adquirida por un cuerpo depende de su masa, de forma que los cuerpos más pesados tardan menos tiempo en caer desde una cierta altura, que otros menos pesados.*

A.32. Para contrastar las hipótesis anteriores, hemos visto la necesidad de eliminar el rozamiento con el aire o de hacerlo casi despreciable. Indicar una forma de lograr esto.

Comentarios A.32.

Los alumnos sugieren a menudo, la utilización de un tubo de vacío. Conviene lógicamente, pedirles algo más simple. Se propone entonces la utilización de pequeños objetos esféricos compactos con el fin de que la resistencia del aire pueda considerarse despreciable y otros diseños igualmente ingeniosos como dejar caer un objeto plano verticalmente, etc.

A.33. Una vez establecida la forma de conseguir que la fricción con el aire sea despreciable, proceder de forma sencilla a comprobar la segunda hipótesis anterior.

Comentarios A.33.

Los alumnos no tienen problemas en utilizar objetos como gomas de borrar, canicas, e incluso hojas de papel arrugadas formando bolas compactas, y comprueban cómo cuando se dejan caer desde la misma altura, los tiempos de caída son prácticamente los mismos. Lo cual parece indicar que en efecto, la masa de los cuerpos no influye en la aceleración de caída si el rozamiento es despreciable.

A pesar de que la contrastación de la 2ª hipótesis suele salir bastante bien, no es infrecuente que algunos alumnos afirmen p.e. que «la goma ha caído un poco antes que el trocito de tiza». El profesor puede entonces valorar positivamente dicha afirmación y aprovecharla para puntualizar algunos aspectos claves:

En primer lugar se trata de admitir que lo que sí parece demostrar la conclusión obtenida es la falsedad de la idea, sólidamente arraigada en muchos alumnos, de asignar la mitad de tiempo en la duración de caída a doble peso. Conviene que el profesor se refiera aquí (en caso de no haberlo hecho ya antes), a las ideas aristotélicas respecto a la caída de graves, citando al propio Aristóteles cuando escribe textualmente que:

«Un peso dado cae una cierta distancia en un tiempo dado; un peso que sea mayor tarda en caer desde la misma altura menos tiempo, estando los tiempos en proporción inversa a los pesos. Así si un peso dado es doble que otro, invertirá la mitad de tiempo en caer» (De caelo).

Puede ser interesante también el utilizar el siguiente párrafo de la obra «Dos Nuevas Ciencias» de Galileo, que reproducimos a continuación:

Simplicio, tengo la esperanza de que no seguirás el ejemplo de muchos otros, que desvían la discusión de un punto principal y dicen que algunas de mis afirmaciones se apartan de la verdad por un cabello y por este cabello esconden las faltas de otras teorías tan gruesas como un cable de navío. Aristóteles dice que una esfera de hierro de 100 libras, cayendo desde una altura de 100 cúbitos, llega a tierra antes de que una bola de una libra dejada caer desde la misma altura halla caído un simple cúbito. Yo digo que las dos llegan al mismo tiempo. Tu encuentras al hacer la experiencia, que la más pesada adelanta a la más ligera en dos o tres dedos. Ahora no puedes esconder detrás de estos dos dedos los 99 cúbitos de Aristóteles, ni puedes, mencionar mi pequeño error y al mismo tiempo silenciar el suyo, mucho mayor. (Citado en Holton y Roller, 1972).

En segundo lugar es importante evitar que los alumnos piensen que una hipótesis tan importante como esta pueda quedar realmente contrastada con un simple experimento escolar. El profesor se referirá a la enorme cantidad de evidencia empírica -obtenida mediante distintos diseños mucho más precisos- que apoya la conclusión obtenida, así como a su coherencia y eficacia dentro de la mecánica. Es todo ello lo que verdaderamente nos permite afirmar que en efecto, en ausencia de rozamiento la aceleración de caída de los cuerpos es independiente de su masa.

Finalmente conviene utilizar la experiencia para insistir ante los alumnos acerca de los peligros de las generalizaciones acríticas y precipitadas basadas exclusivamente en «el sentido común». Esta metodología, es la que habitualmente utilizan los alumnos y su cambio progresivo por otra más acorde con la metodología científica debe ser un objetivo básico en la enseñanza de las ciencias.

A continuación pasaremos a contrastar la hipótesis de que el movimiento de caída libre de los cuerpos se produce con aceleración constante, es decir: se trata de un movimiento uniformemente acelerado. Pero dado que no podemos medir directamente la aceleración de caída para ver si es constante o no, es preciso derivar alguna consecuencia que si se pueda contrastar:

- A.34. Si la aceleración es constante, se deben de cumplir las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado. Considerar dichas ecuaciones e intentar derivar a partir de ellas alguna consecuencia que podamos contrastar experimentalmente, para ver si la caída libre de los cuerpos es un movimiento de aceleración constante.

Comentarios A.34.

La propuesta de los alumnos (que ya han estudiado el M.U.A.), es utilizar la ecuación $e = 1/2 at^2$. El problema se reduce entonces a dejar caer los cuerpos sin velocidad inicial y medir posiciones y tiempos, para ver si se ajustan a la relación mencionada, que se puede poner en la forma: $h = K t^2$.

- A.35. Proponer algún experimento de fácil realización en el laboratorio y que permita comprobar si la relación entre las alturas h desde las que se deja caer un cuerpo y los tiempos t que tarda en llegar al suelo es la establecida en la actividad anterior.

Comentarios A.35.

Los alumnos, de entrada, suelen proponer dejar caer una pequeña esfera desde distintas alturas y medir en cada caso el tiempo empleado en caer para ver si los valores obtenidos se ajustan a la relación prevista. Conviene entonces hacer notar que los tiempos de caída son tan pequeños que no es posible realizar medidas precisas de los mismos (a no ser que se disponga de los medios técnicos adecuados), y que por lo tanto se hace necesario «debilitar» la caída sin alterar la naturaleza del movimiento. Entre las sugerencias propuestas, aparece la de utilizar una polea, o bien un plano inclinado por el que dejar rodar la esfera.

El profesor debe resaltar para éste último caso, que se trata del mismo montaje que al parecer utilizara en su día el propio Galileo. Normalmente se obtienen unos buenos resultados, utilizando ciertos rieles de cortinas o también barras de aluminio con una ranura o canal por donde pueda ir la bola. En cualquier caso es necesario que no se combe y que tenga una longitud suficiente, a ser posible superior al metro y medio. También hay que procurar que sea lo más liso posible y darle una inclinación muy pequeña. Y por supuesto, es preciso repetir cada medida varias veces, dada la dispersión de los resultados, y trabajar con los valores medios

A.36. Proceder a la realización del experimento diseñado.

Comentarios A.36.

Durante esta etapa de manipulación en el laboratorio y pese a la elaboración precedente del diseño, suelen surgir pequeños problemas técnicos que deben ser resueltos. Por ejemplo: ¿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. O también: ¿Cómo medir con precisión el tiempo empleado en el recorrido?. Respecto a esta cuestión, hemos de indicar que conviene que el alumno que retira el tope sea el mismo que maneje el cronómetro. Por otra parte interesa colocar otro tope al final del plano de forma que el sonido del choque de la esfera con él sirva de señal para parar el cronómetro. También es preciso tener cuidado en la medida de la distancia recorrida por la bola, etc

A.37. Proceder al tratamiento de los datos obtenidos y a su interpretación. A continuación presentar un informe lo más detallado posible sobre el trabajo realizado, en donde se destaquen cada una de sus fases: planteamiento del problema, hipótesis emitidas, diseños, etc.

Comentarios A.37.

Se trata esta de una actividad a incluir tras cada práctica, ya que no sólo permite una visión de conjunto y una comprensión de los distintos pasos que se suelen presentar en una investigación científica, sino que además habitúa a los alumnos a archivar ordenadamente el trabajo que realizan y a practicar la expresión escrita, para la cual encuentran no pocas dificultades.

Debe advertirse que la idea espontánea de los alumnos sobre la influencia de la masa en la velocidad de caída no ha sido, en general, erradicada totalmente con esta práctica. Así por ejemplo nos hemos encontrado con muchos de ellos que piensan todavía que la masa no influye si no hay rozamiento, pero si que lo hay, el cuerpo de doble masa tardará en caer la mitad de tiempo. Del mismo modo, pueden seguir pensando que eso es válido para el movimiento de caída, pero no para el de «subida» (Carrascosa, 1987). Por ello será necesario insistir en actividades posteriores sobre esta cuestión, especialmente en la resolución de problemas. También es fundamental revisar de nuevo este resultado una vez que se haya desarrollado la «síntesis newtoniana» viendo que también se llega a él como consecuencia de la Ley de la Gravitación universal.

En cualquier caso el profesor debe ser consciente de que la superación de las ideas espontáneas de los alumnos en Mecánica, no puede realizarse en un corto período mostrando los resultados de algunos experimentos, sino que es preciso que se disponga de un sistema de conocimientos coherente y global (Martínez Torregrosa, 1987), que muestre la potencialidad de los conceptos introducidos para interpretar situaciones muy diversas. Así por ejemplo en el caso considerado, un factor que induce a los alumnos a pensar que los cuerpos doble pesados tardan en caer la mitad de tiempo, es el preconcepto que lleva a los alumnos a asociar fuerza con velocidad («Si pesa el doble es atraído con el doble fuerza luego llevará doble velocidad y por lo tanto llegará en la mitad de tiempo»). No es de extrañar que mientras no se asimile el concepto newtoniano de fuerza, a pesar de lo bien que haya podido realizarse la experiencia anterior, en cuanto se varíe un poco el contexto (por ejemplo «subida» de un cuerpo en lugar de «caída»), algunos alumnos vuelvan a cometer el mismo error conceptual y digan que un cuerpo doble pesado que otro cuando se lanza hacia arriba con la misma rapidez inicial, llegará justo a la mitad de altura.

5. EJERCICIOS Y PROBLEMAS.

A.38. El movimiento de la Luna alrededor de la Tierra se puede considerar como un movimiento uniforme de trayectoria circular con centro en la Tierra. Se pide: Realizar un esquema gráfico dibujando para tres posiciones distintas de la Luna sendos vectores representativos de la velocidad y de la aceleración.

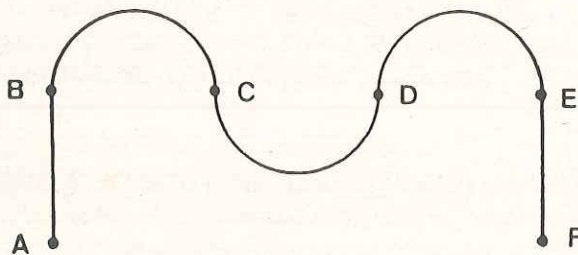
Comentarios A.38.

Se trata de comprobar si los alumnos manejan correctamente el concepto de vector aceleración y señalan consecuentemente que si bien la aceleración sobre la trayectoria es cero (la rapidez es constante), el vector aceleración no lo es ya que la velocidad está cambiando constantemente de dirección, por lo que dicha aceleración deberá de estar dirigida hacia el centro (centrípeta).

El cálculo de dicha aceleración no es imprescindible en este nivel, (como tampoco lo es el hablar de la aceleración «tangencial»), ahora bien, actividades como esta, facilitan después la comprensión del concepto newtoniano de fuerza.

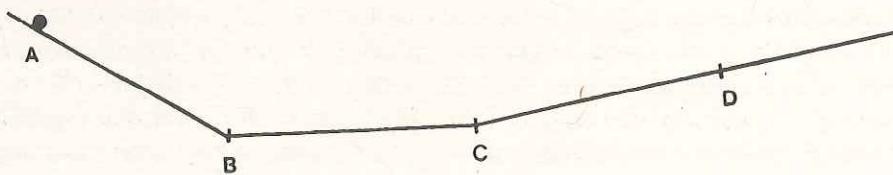
La siguiente actividad, más completa que la anterior, también puede utilizarse para comprobar si verdaderamente se ha comprendido el concepto de aceleración.

A.39. (optativa). Un coche se mueve por una carretera como la dibujada en la figura adjunta. En el tramo de A a B lleva velocidad constante. De B a C aumenta el módulo de la velocidad uniformemente. De C a D, mantiene constante el módulo de la velocidad. De D a E, disminuye el módulo de la velocidad uniformemente. A partir de E, frena uniformemente hasta que al llegar a F se para.

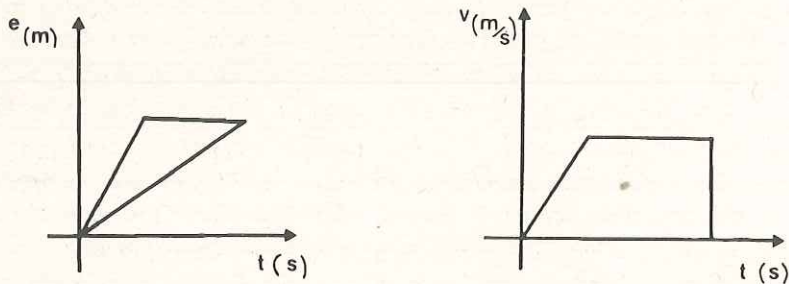


Discutir en que tramos el coche sufre una aceleración y a continuación dibujar en el punto medio de cada uno de ellos un vector que la represente.

A.40. En el dispositivo de rampas de la figura adjunta, se deja con cuidado una bolita en el punto A. Considerando nulo el rozamiento, representar cualitativamente el movimiento de la bola desde que abandona A, hasta que pasa por el punto D, en los diagramas a-t; v-t y e-t.



A.41. Interpretar físicamente las gráficas que se adjuntan.

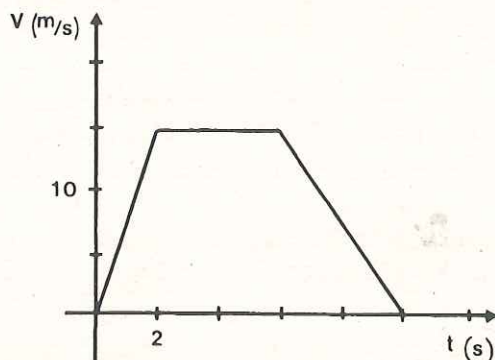


A.42. Al estudiar el movimiento de un cuerpo se han obtenido los siguientes datos:

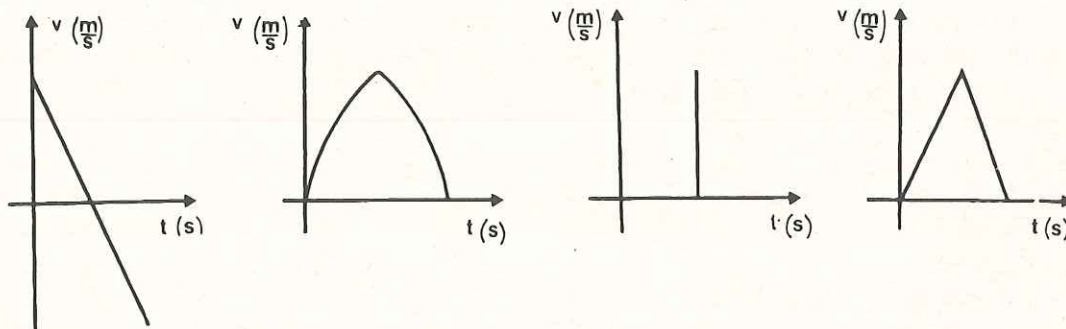
s(m)	0	7.5	30	67.5	120
t(s)	0	5	10	15	20

Indicar razonadamente, mediante el tratamiento oportuno de los mismos, de qué tipo de movimiento se trata.

- A.43. Interpretar físicamente la gráfica adjunta y a continuación «traducirla» al diagrama e-t, sabiendo que el móvil parte del origen.



- A.44. ¿Cual de las siguientes gráficas refleja correctamente, la relación entre la rapidez de una pelota que ha sido lanzada verticalmente hacia arriba, y el tiempo t que ha estado moviéndose?

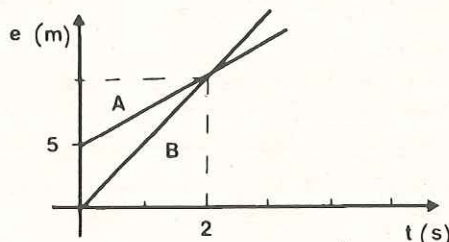


- A.45. En la figura adjunta se muestra el movimiento de dos coches A y B. Contestar cierto o falso a las siguientes proposiciones:

En el instante $t = 2$ s, la velocidad de A es:

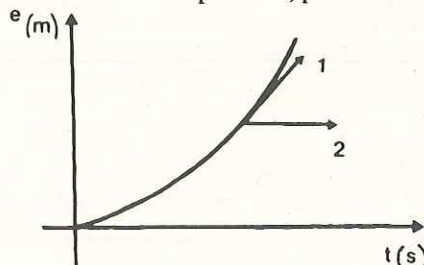
- menor que la de B.
- igual que la de B.
- mayor que la de B.

Explicar la respuesta.



- A.46. En la gráfica adjunta $e = f(t)$, la dirección del vector velocidad en el punto P, puede venir representada por (elegir o dar respuesta correcta):

- El vector (1)
- El vector (2)
- Otra respuesta (especificarla):



Comentarios A.40; 41; 42; 43; 44; 45 y 46.

El dibujo y la interpretación de gráficas tiene un importancia crucial en el desarrollo y la comprensión de muchos fenómenos en física (McDermott, et al., 1987). Esto ocurre especialmente en cinemática, en donde también se dan una serie de errores comunes entre un gran número de alumnos y sobre los que conviene incidir. Uno de ellos por ejemplo, consiste en confundir la forma de la gráfica con la trayectoria realmente seguida por el móvil. Las actividades propuestas, permiten la visualización y comprensión de los movimientos implicados (en algunos casos de forma intuitiva y cualitativa), y además pueden utilizarse para tratar posibles errores. Particularmente en la A.46, donde una contestación precipitada lleva a señalar como respuesta correcta la a), incluso entre alumnos de ciencias universitarios

- A.47. Se lanza un objeto verticalmente hacia arriba. ¿Que altura máxima alcanzará?

- A.48. Un coche persigue a otro. ¿Cuanto tiempo tardará en alcanzarlo?

A.49. Un perro persigue a un conejo. ¿Le alcanzará antes de que llegue a la madriguera?

Comentarios A.47; 48 y 49.

Se trata de problemas como pequeñas investigaciones. La conveniencia e importancia de los mismos, así como las indicaciones oportunas para su resolución, se exponen en un apéndice al final de este volumen. No obstante, es conveniente insistir aquí, que aunque se propongan problemas numéricos es fundamental que los alumnos intenten resolverlos mediante la metodología allí propuesta.

A.50. Un objeto se desplaza a lo largo de una trayectoria según la ecuación $e = 25 + 40t - 5t^2$ m (si t en s). ¿Qué distancia recorrerá al cabo de 5 s?

A.51. Se lanza verticalmente un objeto hacia arriba con una rapidez dada alcanzando este una altura de seis metros. ¿Qué altura alcanzará otro objeto lanzado con la misma rapidez, si su masa es la mitad que la del primero?

A.52. Un coche coge la autopista de Valencia hacia Castellón con una rapidez constante de 108 km/h a las 9 de la mañana. Un cuarto de hora después, otro coche que viaja a 72 km/h entra a la autopista por Castellón dirigiéndose a Valencia. Sabiendo que la longitud del tramo de autopista considerado es de 70 km, hallar dónde se cruzarán.

A.53. Desde lo alto de una torre de 50m, se lanza verticalmente hacia arriba a 20m/s una piedra. Hallar la rapidez con que chocará con el suelo en la base de la torre.

A.54. Un automóvil inicialmente en reposo, acelera con $a = 2\text{m/s}^2$ durante 10 segundos. A continuación sigue con la rapidez alcanzada hasta que a los 30 segundos (desde que empezó a moverse) frena consiguiendo detenerse en 5 segundos. Hallar la distancia total recorrida.

Comentarios A.50; 51; 52; 53 y 54.

Se trata de actividades en cuyo enunciado se especifican los datos numéricos, pero que los alumnos han de abordar siguiendo la metodología propuesta en los problemas como pequeñas investigaciones. A modo de ejemplo comentaremos con cierto detalle la primera de ellas:

Consiste en una actividad en donde suelen producirse dos tipos de resultados erróneos.

a) En primer lugar tenemos aquellos que responden 100 m, es decir, el de los que se limitan a sustituir t por 5 y calcular así $e = 100$ m (lo cual es verdad), identificando dicho resultado con la distancia recorrida, lo que, naturalmente es incorrecto (se trata no obstante de un resultado consecuencia de un error muy extendido).

b) En segundo lugar está el resultado de 75 m, correspondiente a aquellos que tuvieron en cuenta que en el instante inicial, la posición del móvil era $e_0 = 25$ m, con lo que $\Delta e = 75$ m, (lo que también es verdad), identificando así el desplazamiento sobre la trayectoria con la distancia recorrida por el móvil, lo cual ya no es cierto. Pese a lo erróneo del resultado, se trata de una propuesta más elaborada.

Si nos preguntamos por las causas de las respuestas incorrectas anteriormente comentadas, hemos de señalar en primer lugar, un aprendizaje superficial, que no se ha detenido en la clarificación de los conceptos. De hecho, en una ecuación como la propuesta, e , indica la posición del móvil en cada instante, es decir, la posición respecto a un punto fijo de la trayectoria que se toma como origen. El valor absoluto de e , coincide con la distancia medida sobre la trayectoria a dicho origen. Así pues un resultado como $e = 100$ m, (para $t = 5$ s), no indica que se hayan recorrido 100 m, en 5 s, sino que el móvil se encuentra a 100 m del punto de referencia, mientras que en el instante inicial (es decir en aquel en que se empieza a contar el tiempo) se encontraba en $e_0 = 25$ m. La diferencia, $\Delta e = e - e_0 = 75$ m, es evidentemente el desplazamiento experimentado por el móvil respecto al punto de referencia en esos cinco segundos. Pero ello no asegura que dicho valor coincida con la distancia recorrida, a no ser que el móvil se haya desplazado siempre en el mismo sentido. Cosa que no ocurre en el caso propuesto.

Tocamos así una segunda causa -sin duda muy relacionada con la mencionada superficialidad con que son estudiados los conceptos- consistente en la utilización casi exclusiva de ejemplos que favorecen la confusión. Es decir: La mayor parte de los problemas sobre móviles toman, explícita o implícitamente, como sistema de referencia, el punto e instante en que se inicia el movimiento, lo que hace que el espacio e y el desplazamiento sobre la trayectoria Δe , coincidan. Si además el movimiento es uniforme o de aceleración

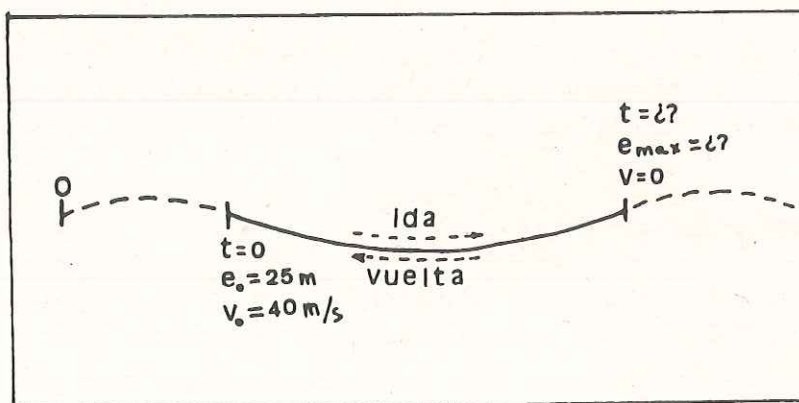
positiva, el valor de e indicará, a la vez que la posición sobre la trayectoria, el desplazamiento sobre la trayectoria y la distancia recorrida. La repetición de ejemplos donde esto ocurre, lleva no sólo a confundir los conceptos sino a hacer «innecesario» (es decir, a olvidar), el tener en cuenta el sistema de referencia. El carácter relativo de todo movimiento es así escamoteado, negado en la práctica, por mucho que se haya podido insistir en ello retóricamente. Y es necesario tener en cuenta que esta costumbre a absolutizar el movimiento, tomando siempre como referencia implícita el punto e instante de donde parte el móvil corresponde a tendencias profundamente arraigadas en el niño, tales como centrar todo en sí mismo, en su propia experiencia, generalizándola acríticamente. De aquí que el error cometido al resolver el problema propuesto, no pueda ser considerado como un «pequeño olvido» más o menos sin importancia, sino como índice -y podríamos multiplicar dichos índices- de que el aprendizaje realizado no ha supuesto una correcta comprensión de los conceptos, y de que continúan vigentes preconcepciones o ideas previas con las que es necesario romper. Como señala Bachelard: «De hecho se conoce contra un conocimiento anterior, destruyendo conocimientos mal adquiridos». Sólo si se tiene esto en cuenta se verá la necesidad de situaciones de aprendizaje adecuadas que ayuden a romper con situaciones confusas o francamente incorrectas en vez de favorecer su afianzamiento.

Pero no se agotan aquí las razones fundamentales de la incorrecta resolución de un problema tan elemental como el propuesto. Es necesario también referirse a los aspectos metodológicos implicados en la resolución de problemas. Albert Einstein decía que «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 expuestos con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente».

Una fuente fundamental de errores es, sin duda, el operativismo extremo con que se abordan los problemas, la falta casi total de reflexión cualitativa. Hubiera bastado, en efecto, un mínimo planteamiento cualitativo para evitar resultados erróneos en el problema propuesto. A título de ejemplo transcribimos la resolución realizada por un alumno de magisterio habituado a dicha reflexión cualitativa:

1º La ecuación $e = 40t - 5t^2 + 25$ describe el movimiento de un objeto a lo largo de su trayectoria: e indica la distancia al origen de referencia y se comienza a contar el tiempo cuando el móvil se encuentra a 25 m de dicho punto.

Se trata, por otra parte, de un movimiento uniformemente acelerado con una rapidez inicial de 40 m/s que irá disminuyendo debido a la aceleración negativa de -10 m/s^2 . de acuerdo con ello el móvil va alejándose del punto de referencia, pero cada vez más lentamente y, al cabo de cierto tiempo se parará ($V = 0$). A partir de dicho instante la rapidez se hará negativa, es decir el móvil comienza a regresar hacia el punto de referencia. Gráficamente el proceso puede ser esquematizado como se muestra en la figura adjunta:



2º Atendiendo a las características del movimiento, el cálculo de la distancia recorrida pasa por averiguar si en los primeros 5 s el móvil ha comenzado ya a regresar o no. En este último caso bastará con calcular Δe , que coincidirá con la distancia recorrida en ese tiempo. Pero si ya está de vuelta, es necesario descomponer el problema en dos partes. La primera correspondiente a la etapa en que se está alejando del punto de referencia y la segunda, a la etapa de regreso. La suma de los Δe respectivos (en valor absoluto) proporcionará la distancia total recorrida.

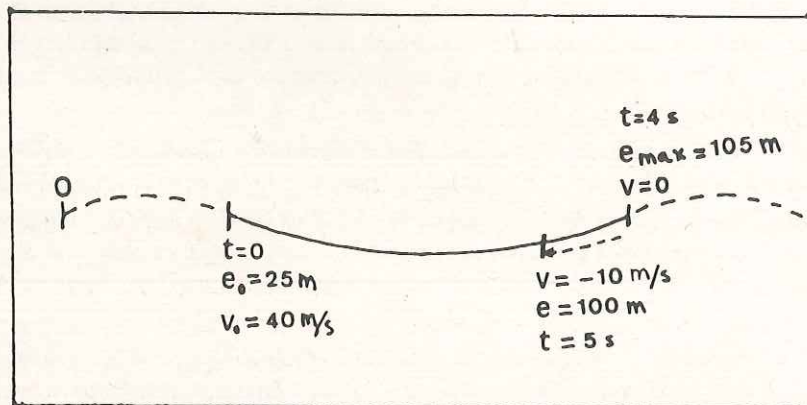
Para ello es preciso calcular en primer lugar el tiempo que tardará en pararse y ver si es o no superior

a los 5 s. Escribimos la ecuación de la rapidez $V = 40 - 10t$ y hacemos $V = 0$, con lo que se obtiene $t = 4$ s.

Como hemos visto, el móvil cambia de sentido a los 4 s, instante en el que se encuentra a una distancia del punto de partida de $e = 40 \times 4 - (5 \times 16) + 25 = 105$ m. Con lo que la distancia recorrida a la ida coincidirá con el valor absoluto de A_e a la ida, es decir: $A_e = 105 - 25 = 80$ m.

En el instante $t = 5$ s, el móvil se encuentra en la posición dada por $e = 40 \times 5 - (5 \times 25) + 25 = 100$ m. Con lo que la distancia recorrida a la vuelta hasta ese instante coincidirá con el valor absoluto del Δe correspondiente, esto es A_e (en valor absoluto) = 5 m.

Así pues la distancia total recorrida a los 5 s resulta ser de 85 m, y el problema queda esquematizado como se indica a continuación:



Esta es, naturalmente, la respuesta correcta y también, lo que es más importante, un método correcto de resolución. Pensemos que si el ejemplo propuesto hubiera sido $e = 40t + 5t^2$, la simple sustitución de t por 5, hubiese proporcionado una respuesta correcta: distancia recorrida = 325 m. Pero el problema, en nuestra opinión, hubiese estado igualmente mal resuelto. Sólo si dicho cálculo hubiera estado precedido de una reflexión cualitativa, podría ser aceptado como correcto. Así en este caso, sería necesario explicitar que se trata de un movimiento a lo largo de la trayectoria, tomando como punto de referencia la posición del móvil cuando se empieza a contar el tiempo (para $t = 0$, $e = 0$). Se trata además de un M.U.A con una velocidad inicial de 40 m/s y una aceleración de 10 m/s² ambas positivas, por lo que el móvil se alejará continuamente y cada vez más aprisa del punto de referencia, en el sentido escogido como positivo. En este caso el desplazamiento sobre la trayectoria coincide con el valor de e y proporcionará la distancia recorrida en cada instante.

Habituando a los alumnos a tales consideraciones no sólo se evitan resultados aberrantes en casos como el aquí planteado, sino que se supera un operativismo abstracto y carente de rigor, que constituye uno de los defectos principales con que se enfrenta el aprendizaje (y la docencia) de las ciencias.

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.55. Exponed en un único folio, una síntesis del capítulo en donde para cada apartado se remita a las actividades realizadas o a otros materiales en donde se desarrollen los contenidos.
- A.56. Ir recogiendo en forma de recortes, las noticias que aparezcan en la prensa refiriéndose a aspectos relacionados con la cinemática y elaborad después un cartel con todos ellos.
- A.57. Visión de alguna película relacionada con el tema (por ejemplo «Galileo Galilei», de Liliana Cavani). También podría proponerse la realización de un trabajo bibliográfico, en donde se comentasen algunos escritos de Galileo sobre el tema, las dificultades con que se encontró, (ideas de la época contra las que tuvo que luchar, etc).

Comentarios A.55; A.56; y A.57.

Se trata de actividades que pueden ir realizándose a lo largo del capítulo y que conviene, en la medida

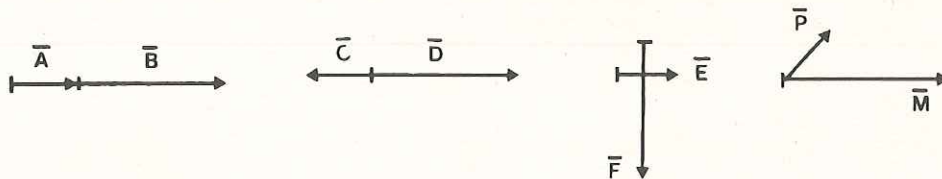
de lo posible, repetir también en los demás temas a lo largo del curso, ya que en ellas se tratan diversos aspectos de gran importancia en la formación cultural del alumno.

7. ANEXO: INTRODUCCION AL CALCULO VECTORIAL

A.1. Una alumna realiza un desplazamiento dado por el vector \vec{A} . Después hace otro dado por el vector \vec{B} , tal y como se indica en la figura adjunta. Dibujar cual ha sido el desplazamiento resultante o suma de los dos anteriores $\vec{S} = \vec{A} + \vec{B}$. A continuación intentar expresar verbalmente qué es lo que hay que hacer para sumar dos vectores gráficamente.

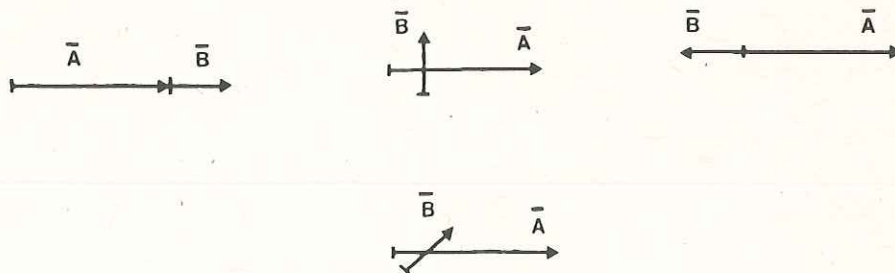


A.2. Aplicar lo aprendido en la actividad anterior para sumar gráficamente los siguientes vectores. A continuación razonar cual sería la expresión adecuada para calcular el módulo del vector suma en los tres primeros casos.



A.3. Un alumno se encuentra en una posición dada por $\vec{r}_A = (2, 7)\text{m}$. El mismo alumno se halla algún tiempo después en la posición dada por $\vec{r}_B = (10, 4)\text{m}$. Se pide: a) Representar gráficamente ambos vectores de posición y dibujar el vector desplazamiento $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$. c) Razonar que es lo que hay que hacer para restar gráficamente dos vectores.

A.4. Aplicar la regla general para la sustracción de vectores y dibujar el vector diferencia $\vec{D} = \vec{A} - \vec{B}$, en cada uno de los siguientes casos. A continuación intentar calcular el módulo de \vec{D} en cada uno de los tres primeros.



A.5. Un alumno realiza el desplazamiento representado por el vector \vec{A} de la figura adjunta. Otro alumno realiza el mismo desplazamiento pero tres veces mayor. Dibujar un vector que represente el desplazamiento efectuado por este segundo alumno. A continuación razonar que es lo que hay que hacer para multiplicar o dividir un vector por un número.



A.6. Aplicar las conclusiones de la actividad anterior y dado un vector desplazamiento \vec{A} de módulo 6 m. Dibujar los siguientes desplazamientos calculando en cada caso su módulo $\vec{B} = 2\vec{A}$; $\vec{C} = -3\vec{A}$; $\vec{D} = \vec{A}/2$; $\vec{E} = -(1/3)\vec{A}$

Comentarios A.1; A.2; A.3; A.4; A.5 y A.6.

Se trata de actividades importantes para manejar correctamente las magnitudes vectoriales y que pueden ser planteadas en el momento en que este manejo se hace necesario (estudio del vector de posición y vector desplazamiento), lo cual contribuye sin duda a que el alumno perciba su interés y no quede como algo

puramente abstracto. Se comienza por la suma de vectores porque es quizás la operación más intuitiva y porque puede aplicarse también después como una forma de explicar la sustracción (buscar el vector que sumado al sustraendo nos dé el minuendo), que es la operación que realmente se utiliza en el tema.

Sirven también para salir al paso de algunos errores metodológicos muy comunes como es el de pensar que los vectores pueden sumarse y restarse como si fuesen valores de magnitudes escalares. Obviamente en la determinación del módulo del vector suma o diferencia, se harán únicamente los casos elementales (misma dirección y perpendiculares) dejando sin resolver el cálculo de la expresión general que se hará en cursos superiores. El profesor ha de asegurarse que los alumnos dibujan finalmente con soltura, el vector suma y el vector diferencia de dos vectores.

DINAMICA. LA SINTESIS NEWTONIANA.

Hasta aquí hemos introducido las magnitudes necesarias para la descripción de los movimientos y analizado con detenimiento algunos tipos concretos. Vamos ahora a estudiar los aspectos causales del movimiento, sobre los que ya hemos expresado algunas ideas al tratar los aspectos claves de la «Física del sentido común» en las que conviene profundizar, pues representan el punto de partida en el estudio que vamos a realizar.

1. REVISIÓN DE LOS ASPECTOS DINAMICOS DE LA FISICA DEL SENTIDO COMUN

A.1. Dibujar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en los siguientes casos: a) ha sido lanzado verticalmente y está subiendo; b) Idem en el punto más alto; c) Idem bajando; d) ha sido lanzado oblicuamente y está en el aire (describiendo una parábola); e) se desliza con velocidad constante por un plano horizontal sin rozamiento; f) está subiendo por un plano inclinado; g) un satélite que gira en órbita alrededor de la Tierra.

A.2. Exponed vuestras ideas sobre la relación existente entre la velocidad de un cuerpo y la fuerza que actúa sobre él.

A.3. Considerar si es correcto o no el siguiente enunciado: «Para que un cuerpo permanezca en movimiento es necesario que actúe sobre él una fuerza, y al cesar ésta, el cuerpo vuelve a su estado natural: el reposo».

Comentarios A.1, A.2 y A.3

Se trata de actividades muy importantes, con las que se pretende que los alumnos expresen sus ideas intuitivas, sus preconcepciones, para poder incidir sobre ellas. La concepción de la fuerza como causa del movimiento -y, por tanto, la creencia de que para que exista velocidad es necesario que actúe una fuerza en la dirección y sentido del movimiento- se halla, como muestran los resultados estadísticos (Gil y Carrascosa, 1987), muy generalizada y arraigada.

El profesor, no obstante, no debe corregir las respuestas en este momento. Por el contrario, se busca que los alumnos sean conscientes de sus ideas de partida y de que éstas no son dispersas, sino que pueden ser aplicadas en distintas situaciones con aparente éxito (Nussbaum y Novick, 1982). Posteriormente, a la luz de los nuevos conocimientos adquiridos en el desarrollo del programa-guía, se analizará todo el apartado.

En la puesta en común de estas actividades, puede suceder, en ocasiones, que algún alumno se oponga a las afirmaciones de la mayor parte de sus compañeros diciendo, por ejemplo, que la fuerza no es la causa del movimiento, etc.. Hemos podido comprobar que estos alumnos cometen prácticamente los mismos errores al contestar la A.1 que sus compañeros. Se trata, pues, en general, de una muestra de aprendizaje no significativo: se ha producido un solapamiento entre lo que el alumno piensa y lo que le han dicho en la escuela. El profesor planteará que esa división de opiniones deberá ser aclarada a lo largo del estudio que se inicia en este tema.

Las actividades anteriores han permitido sacar a la luz algunas ideas de sentido común acerca de los aspectos causales del movimiento. El objetivo del capítulo que ahora iniciamos es profundizar en dichos aspectos con objeto de responder a cuestiones como: ¿por qué un cuerpo se mueve de una determinada forma?, ¿cómo

podemos modificar el movimiento de un cuerpo?, etc.. Se trata de un estudio que, como veremos se tradujo históricamente en dramáticas confrontaciones en torno al comportamiento de la materia y la concepción del Universo.

Seguiremos, para ello, el desarrollo que se expone a continuación:

2. Principios fundamentales de la dinámica newtoniana.
 - 2.1. Concepto cualitativo de fuerza: primer principio de la dinámica
 - 2.2. Concepto cuantitativo de fuerza: segundo principio de la dinámica
 - 2.3. Profundización en el concepto cualitativo de fuerza (las fuerzas como intensidad de las interacciones entre cuerpos: tercer principio de la dinámica).
3. Principio de conservación de la cantidad de movimiento.
4. Formas de interacción.
5. La Gravitación Universal. La Síntesis Newtoniana.
 - 5.1. Primeras ideas sobre el Universo
 - 5.2. De la mecánica terrestre a la mecánica celeste: la Gravitación Universal
 - 5.3. Introducción al concepto de campo gravitatorio (opcional)
 - 5.4. La Síntesis Newtoniana: el triunfo de la Mecánica
6. Resolución de problemas de dinámica a la luz del cuerpo teórico desarrollado.
7. Actividades complementarias.

2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA DINAMICA NEWTONIANA

2.1. Concepto cualitativo de fuerza: primer principio

A.4. Toda nuestra práctica habitual, - como hemos visto en la revisión de la física del sentido común -, conduce al concepto de fuerza como causa del movimiento. Este concepto de fuerza encierra dificultades que quedan reflejadas en los Diálogos de Galileo. El profesor, junto con un alumno, procederá a la lectura o «representación» de un fragmento de estos diálogos, como el que reproducimos a continuación:

Salviati (dirigiéndose a Simplicio): - Di, si tuvieses una superficie de una substancia tan dura como el acero y tan lisa y pulimentada como un espejo, que no fuese horizontal, sino algo inclinada, y colocases sobre ella una bola de bronce perfectamente esférica, ¿qué piensas que pasaría cuando la soltases?. ¿No crees tú, como yo, que se quedaría allí?.

Simplicio: - ¿Si la superficie estuviese inclinada?

Salviati: - Sí, ya te lo he dicho.

Simplicio: - No puedo concebir que se quedase allí. Creo que tendría una gran propensión a moverse según el declive.

Salviati: - Ten bien en cuenta lo que dices, Simplicio, pues yo creo que se quedaría allí donde la pusieras.

Simplicio: - Si haces tales suposiciones, Salviati, no me admiraré de que llegues a las más absurdas conclusiones.

Salviati: - ¿Estás, pues, seguro de que se movería libremente según el declive?

Simplicio: - ¿Quién lo duda?.

Salviati: - ¿Y esto lo creerías no porque yo te lo digo (pues he intentado persuadirte de pensar lo contrario), sino por ti mismo, por tu propio juicio natural?

Simplicio: - Ahora veo tu juego; decías que creías esto para probarme y para intentar que pronunciase aquellas palabras con las cuales condenarme.

Salviati: - Tienes razón, y ¿qué longitud y con qué velocidad se movería la esfera?. Pero ten en cuenta que he puesto el ejemplo de una esfera perfectamente redonda, y un plano exquisitamente pulimentado, de tal forma que haya que descartar todos los impedimentos accidentales y externos. También habría que quitar los impedimentos originados por la resistencia del aire o de cualquier otro obstáculo casual, caso de que lo hubiera.

Simplicio: - Comprendo muy bien lo que quieres decir y te contesto que la esfera continuaría moviéndose «in infinitum», si el plano fuese lo suficientemente largo, y acelerándose continuamente. Tal es la naturaleza de los cuerpos pesados que adquieren fuerza con la marcha, y cuanto mayor sea la inclinación será mayor la velocidad...»

(De manera similar Salviati obliga a Simplicio a reconocer que si se lanza la esfera por el plano inclinado hacia arriba, irá perdiendo velocidad hasta pararse. Por último, Salviati plantea el caso intermedio, es decir, el lanzamiento de la esfera por un plano horizontal y «exquisitamente» pulimentado...).

Salviati: - Parece, entonces, que hasta aquí me has explicado bien lo que ocurre a un cuerpo en dos planos diferentes. Ahora dime, ¿qué le sucedería a este mismo cuerpo sobre una superficie que no tuviese inclinación ni hacia arriba ni hacia abajo?

Simplicio: - Ahora debes darme algo de tiempo para pensar mi contestación. No habiendo inclinación hacia abajo no podría tener tendencia natural el movimiento; y no habiendo inclinación hacia arriba no podría haber resistencia a su movimiento. De donde se deduce su indiferencia tanto para la propulsión como para la resistencia; por lo tanto pienso que se quedaría naturalmente allí...

Salviati: - Yo pienso lo mismo, con tal que se le hubiese dejado con cuidado, pero si se le hubiera dado un impulso hacia algún lado ¿qué sucedería?

Simplicio: - Que se movería hacia ese lado.

Salviati: - Pero, ¿con qué clase de movimiento? ¿continuamente acelerado como en un plano inclinado hacia abajo o continuamente retardado como en un plano inclinado hacia arriba?

Simplicio: - No puedo descubrir ninguna causa de aceleración ni de retardo si no hay inclinación hacia abajo ni pendiente hacia arriba.

Salviati: - Bien, si no hay causa de retardo, menos la habrá para detenerlo, por tanto, ¿qué distancia recorrerá el cuerpo en movimiento?

Simplicio: - Pues tanta como la superficie ni inclinada ni ascendente.

Salviati: - Por tanto, si ese espacio fuese indefinido, el movimiento sobre él no tendría fin, esto es, sería perpetuo.

Simplicio: - Yo creo que sí, si el cuerpo era de materia duradera.»

A.5. A partir del análisis del diálogo anterior señalar si pueden considerarse seguras o no las siguientes proposiciones:

- a) Los cuerpos tienden al reposo.
- b) Para que un cuerpo permanezca en movimiento ha de estar actuando una fuerza sobre él.

A.6. Según la física aristotélica, «las fuerzas son las causas del movimiento, de la velocidad que tiene un cuerpo». Esta expresión puede considerarse como la definición cualitativa de fuerza. Proponer una definición alternativa a partir de lo discutido hasta aquí.

Comentarios A.4, A.5 y A.6

Con este conocido fragmento de *Dos nuevas ciencias*, que hemos reproducido, el profesor puede lograr una interesante discusión que pone en cuestión la necesidad de fuerza para mantener un cuerpo en movimiento. El fragmento es un modelo de lo que puede hacerse para iniciar el cambio conceptual: partir de las ideas que se posean y mostrar que conducen a contradicciones en determinadas ocasiones.

Después de la discusión, los alumnos cuestionan (comienzan a dudar) que los objetos no tienden al reposo de modo «espontáneo o natural»: la esfera no se para porque dejemos de empujarle, sino, muy al contrario, se detiene porque actúa una fuerza en sentido opuesto a la velocidad -en este caso de rozamiento-. Se trata, como puede verse, de un primer avance del principio de inercia: el estado natural de los cuerpos no es el reposo.

En cambio, no admiten fácilmente que el experimento mental de Galileo invalide la proposición b) de A.5, , pues muchos afirman que la esfera se mueve porque «se le comunicó una fuerza al lanzarla que no se gasta al no haber rozamiento», por lo que la bola continúa con movimiento rectilíneo y uniforme.

El profesor deberá resaltar las implicaciones de esta última opción: a) supondría que hay dos tipos de fuerzas, las que actúan sobre los cuerpos cuando están en contacto con otros y las que poseen porque alguna vez han estado en contacto con otros; b) existe una diferencia dinámica entre los cuerpos en reposo y en movimiento rectilíneo y uniforme, ya que sobre estos últimos actúan fuerzas y sobre los primeros no; c) las fuerzas «de contacto» varían el movimiento, las otras lo mantienen constante; d) cuanto mayor sea la velocidad constante de un cuerpo mayor será la fuerza que «posee».

Evidentemente, las ideas de los alumnos se sustentan en uno de sus preconceptos más arraigados: la del carácter absoluto del reposo y el movimiento, la creencia de que es posible distinguir entre reposo y movimiento rectilíneo y uniforme (Minstrell, 1982). Es necesario, pues, que el profesor plantee cuestiones que pongan en duda esta preconcepción. Es posible referirse, por ejemplo, a situaciones que muestren la

imposibilidad de determinar, de un modo absoluto, si un cuerpo está en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme; o hacer ver que el movimiento rectilíneo y uniforme sería tan «natural» como el reposo en un mundo sin rozamiento (por ejemplo si la superficie de la Tierra fuera de hielo seco). O preguntar por las fuerzas que actúan sobre un objeto que se encuentra en una mesa en un tren con MRU a gran velocidad. En este caso, por ejemplo, si fuera cierta la opción b), para un pasajero del tren la fuerza resultante sobre el objeto sería nula, pero para una persona en el andén sí que habría, lo cual es, evidentemente, contradictorio.

En definitiva, para que los alumnos lleguen a plantear el principio de inercia en términos de que no es necesaria ninguna fuerza para que un cuerpo esté con MRU, y puedan abordar, por tanto, la A.6, es necesario que conciban el reposo y el MRU como totalmente indiscernibles desde el punto de vista dinámico. Sólo así plantearán de un modo significativo que la fuerza no es la causa de que un cuerpo tenga velocidad sino de las variaciones de la misma, de la aceleración.

En cualquier caso, el concepto newtoniano sólo podrá ser asimilado cuando se desarrollen los restantes principios y pueda realizarse una síntesis.

2.2. Concepto cuantitativo de fuerza: segundo principio

A.7. El concepto cualitativo de fuerza de la física aristotélica, sugiere una proporcionalidad entre la fuerza, F , aplicada a un objeto y la velocidad que tiene. Es decir, en un lenguaje actual: $F = K v$, expresión que puede considerarse como definición operativa de fuerza. Dar, a título de hipótesis, otra definición operativa coherente con las nuevas ideas cualitativas.

Comentarios A.7

Los alumnos proponen $|\vec{F}| = K |\vec{a}|$. Es necesario resaltar que se trata de la concreción operativizada del nuevo concepto cualitativo de fuerza introducido en A.5 y A.6. En definitiva, es una hipótesis cuya validez sólo podrá ser contrastada a la luz de su fecundidad tanto por la coherencia del cuerpo teórico que a partir de ella se desarrolle, como por la validez de las soluciones que aporte a los problemas planteados.

Por supuesto, es probable que los alumnos hagan uso de expresiones escalares. El profesor puede llamar la atención sobre la mayor generalidad de la expresión vectorial, sin negar la validez - limitada - de expresiones como $F/a = K$, en donde F representa una fuerza tangente a la trayectoria o la componente correspondiente.

A menudo aparece, también, la propuesta $\vec{F} = K \Delta \vec{v}$, siendo necesaria la intervención del profesor para mostrar que no es adecuada a nuestra idea intuitiva de fuerza, ya que un Δv muy grande no significa necesariamente una fuerza muy grande, provocando la necesidad de que se considere el intervalo de tiempo en que se produce la variación, ...

A.8. Intentar dar significado a la constante K . Considerar para ello qué ocurrirá con cuerpos de K muy grande o muy pequeña.

Comentarios A.8

La discusión de los alumnos sobre los distintos valores de K , les conduce a establecer que cuando mayor sea K , la aceleración producida por una fuerza de valor determinado será más pequeña. Surge así la idea de que K es una propiedad característica de cada cuerpo tal que cuanto menor es K , más fácilmente se acelera (entendiendo por ello que una fuerza dada puede provocar mayores cambios de velocidad en un determinado intervalo de tiempo). Por el contrario, cuanto mayor es la K de un cuerpo, menor es la variación de velocidad que puede producir una fuerza dada en un Δt determinado, de aquí el nombre de masa inerte (cantidad de inercia) o simplemente masa con que se le designó.

La discusión de los alumnos o la puesta en común puede girar también, y conviene que así ocurra, en torno a ejemplos de cuerpos que tienen una K grande o pequeña: las referencias a camiones y bicicletas, rocas y guijarros, etc., conduce a asociar la «nueva» propiedad a la cantidad de materia.

A.9. Definir la unidad de masa y la de fuerza en el S.I..

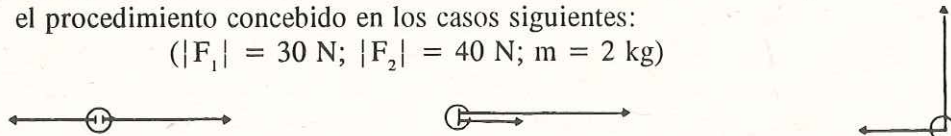
A.10. Dibujar la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo cuyo movimiento es: a) rectilíneo y uniforme; b) R.U.A.; c) circular uniforme (un satélite alrededor de la Tierra).

Comentarios A.10

En cinemática se ha hallado la dirección y sentido de la aceleración en estos casos, por lo que, operativamente, no suele presentar dificultad esta actividad. No obstante, el preconcepción fuerza-velocidad no ha sido aún superado totalmente. Ello se pone de manifiesto porque los alumnos suelen aludir a que si sólo existiera una fuerza hacia el centro -por ejemplo en el M.C.U.- el cuerpo debería dirigirse hacia él. Es el momento de hacerles comprender, mediante el análisis de ejemplos adecuados, que la velocidad sólo tienen necesariamente la dirección y sentido de la fuerza resultante si el cuerpo estaba inicialmente en reposo. Posponemos al apartado 4.1 la clarificación de la cuestión de las fuerzas centrífugas consideradas, en general por los alumnos, como reales.

A.11. a) Sugerir la forma de calcular la aceleración de un cuerpo sobre el que actúan dos fuerzas; b) aplicad el procedimiento concebido en los casos siguientes:

$$(|F_1| = 30 \text{ N}; |F_2| = 40 \text{ N}; m = 2 \text{ kg})$$



A.12. Proponer algún diseño experimental para verificar que para un cuerpo dado se cumple que $|\vec{F}|/|a| = \text{constante}$.

A.13. Concretar detalladamente cómo medir las fuerzas y las aceleraciones.

A.14. Realizar las experiencias proyectadas y analizar los resultados.

Comentarios A.12, A.13 y A.14

Al plantearse los alumnos el problema de cómo conseguir fuerzas variables sobre un cuerpo y medir la aceleración del mismo, suelen surgir en los grupos distintos diseños:

1º. Un plano inclinado por el que se desliza una esfera. La fuerza se modifica variando la inclinación del plano y la aceleración aumentará con dicha inclinación (véase el estudio experimental de la caída de graves en el capítulo anterior).

2º. Una polea de la que cuelgan dos masas, o mejor, dos soportes con pesas que se pueden ir pasando de un soporte a otro (fig. 2), pudiendo variar así la fuerza resultante (diferencia de los pesos) sin que varíe la masa del conjunto (se trata, en definitiva, de la máquina de Atwood)

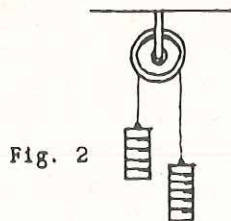


Fig. 2

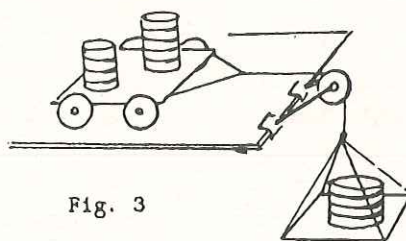


Fig. 3

3º. Un pequeño carrito que se desliza por un plano horizontal tirado por un peso que pende verticalmente (fig. 3). De nuevo se puede ir pasando masas del carrito al soporte vertical, variando así la fuerza (peso que pende) sin variar la masa del objeto (sistema).

Antes de proceder a la contrastación experimental es necesario dejar clara la forma en que van a medirse fuerzas y aceleraciones. Los alumnos conocen por cursos anteriores que las fuerzas pueden medirse con el dinamómetro (véase la actividad complementaria A-66), y la aceleración -si es constante-, según se ha visto en el tema anterior, midiendo desplazamientos y tiempos empleados. Así, la fuerza resultante sobre la esfera en el plano inclinado puede determinarse con un dinamómetro (fig. 4). En los otros dos casos puede hacerse, también, usando el dinamómetro. La diferencia de los pesos nos dará la fuerza resultante en el caso de la máquina de Atwood, y en el montaje del carrito será el peso de las pesas que penden verticalmente. Por supuesto, alternativamente, puede admitirse que la diferencia de las masas, en la máquina de Atwood, o la masa de las pesas que cuelgan, en el otro caso, son valores proporcionales a la fuerza resultante. El cálculo de la fuerza resultante puede hacerse más exactamente si se realiza este trabajo práctico después del estudio de la fuerza gravitatoria.

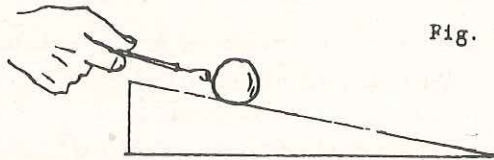


Fig. 4

En lo relativo a la aceleración, en todos los casos se trata de medir el tiempo para un desplazamiento constante -desde $e = 0$ a una posición determinada, $e = y$, dado que, en estos casos, $e = \frac{1}{2}at^2$, se obtiene $a = 2e/t^2$; los valores de $1/t^2$ proporcionan, pues, valores relativos de la aceleración.

Los tres procedimientos diseñados dan resultados aceptables (Calatayud et Al, 1980), obteniéndose líneas rectas -dentro de los márgenes de imprecisión- al representar $a = f(F)$. Para ello, es preciso eliminar prácticamente el rozamiento, lo que se consigue bien en el montaje del plano inclinado y menos bien en los otros dos (haciendo que la recta $a = f(F)$ no pase por el origen). Esto puede interpretarse fácilmente, como una consecuencia del rozamiento que hace que la fuerza resultante sea menor que la fuerza medida.

Debe resaltarse que se trata de un trabajo con evidentes «circularidades», donde se utiliza, incluso, la relación que pretendidamente se trata de «verificar». Mas que de ocultar esta situación se trata de admitirla como una de las características del trabajo científico que se han comentado anteriormente: no existen observaciones «objetivas y neutrales», un experimento -y mucho menos, uno escolar- no verifica una hipótesis, etc.. Es la coherencia del cuerpo teórico elaborado, en este caso de toda la Mecánica, donde se encuentra la verdadera verificación de las hipótesis introducidas. Debe evitarse, no obstante, interpretar esto como que no es necesario, o conveniente, hacer trabajos prácticos en Mecánica. Por el contrario, la coherencia interna de las teorías se muestra porque esas «circularidades» funcionan, es decir, no tienen contradicciones con los resultados experimentales. El carácter experimental de la Física y la Química debe ser, pues, contemplado no como lo más importante, pero sí como parte esencial, huyendo tanto del empirismo como del idealismo (Hodson, 1985).

A.15. Un vehículo adquiere una cierta velocidad. Determinar la fuerza que ha actuado sobre él.

A.16(Opcional) ¿Cuánto tiempo tardará en detenerse un coche?.

Comentarios A.15 y A.16

Son sencillos problemas como investigación que ayudan a profundizar en el concepto de fuerza de un modo no operativista. Ver apéndice sobre resolución de problemas y, con mayor extensión, Gil y Mtnez. Torregrosa (1987).

A.17. Sobre un cuerpo de 5 kg con una velocidad de 20 m/s, actúa una fuerza de frenado de 100 N. Calcular la distancia que recorre hasta que se para.

2.3. Profundización en el concepto cualitativo de fuerza (las fuerzas como intensidad de las interacciones): tercer principio de la dinámica

A.18. Hasta aquí hemos analizado qué le ocurre a un cuerpo, A, cuando otro, B, ejerce una fuerza sobre él. Cabe preguntarse: ¿qué le ocurre al B?. Considerar algunos ejemplos sencillos y exponer las conclusiones.

Comentarios A.18

Analizando un choque, por ejemplo, los alumnos conjeturan, utilizando ejemplos concretos, que mientras A ejerce fuerza sobre B, B ejerce fuerza sobre A. Más aún, la discusión conduce a formular la hipótesis de que la fuerza que A le hace a B es igual y de sentido opuesto a la que B hace a A.

A.19. Dibujar las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo o parte del sistema en los casos siguientes, identificando los pares acción-reacción:

- Un libro sobre la mano.
- Un cuerpo sobre una superficie horizontal que está siendo arrastrado por una cuerda, de masa despreciable, de la que se tira con la mano.
- Un cuerpo que cuelga del techo suspendido por un muelle.

d) Dos esferas, - una de doble masa que la otra -, antes, durante y después de su colisión frontal sobre un plano sin fricción.

Comentarios A.19

Se trata de una actividad fundamental que debe ser desarrollada con mucho detalle. Hay que salir al paso de los graves errores que cometen algunos textos al considerar, por ejemplo en el caso a), que la fuerza que le hace la mano al cuerpo hacia arriba es la reacción del peso, o casos similares.

Es conveniente ir identificando las interacciones en que participa cada cuerpo y dibujar cuantos diagramas de cuerpo-libre (véanse textos de Física General como los de Resnick y Hallyday, Tipler, Alonso y Finn, ...) sean necesarios para resaltar los pares acción-reacción. Desarrollaremos, a modo de ejemplo, el caso b) -representado en la figura 5- considerando cuidadosamente las fuerzas que actúan sobre el cuerpo C y las correspondientes que él ejerce.

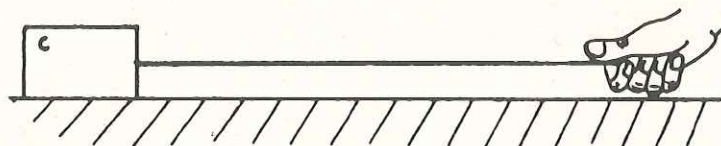


Fig. 5

Nos encontramos, así, con las siguientes fuerzas:

1) la fuerza peso, debida a la interacción gravitatoria con la Tierra, por tanto su reacción estará en el centro de la Tierra (fig. 6).



Fig. 6

2) la fuerza \vec{N} , que ejerce la superficie hacia arriba -si no fuera así, se aceleraría hacia abajo-, cuya reacción está, por tanto, en la superficie, (fig. 7).

3) la fuerza, \vec{T}_1 , que le ejerce la cuerda, y puesto que la cuerda hace una fuerza, \vec{T}_1 , al cuerpo éste le ejerce a la cuerda una igual y de sentido opuesto, (fig. 8).

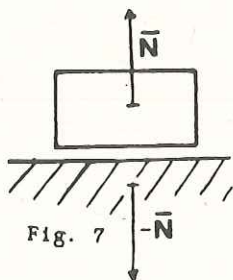


Fig. 7

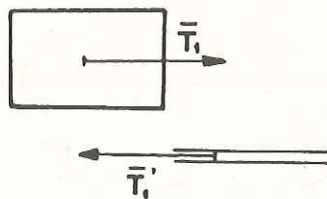


Fig. 8

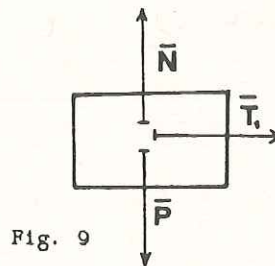


Fig. 9

Fig. 9

En conjunto el diagrama de cuerpo-libre del objeto sería el de la figura 9.

Del mismo modo, sobre la cuerda -cuya masa hemos considerado despreciable- actuaría, además de la fuerza \vec{T}_1' cuya reacción está en el cuerpo, la fuerza \vec{T}_2 , que le ejerce la mano, cuya reacción, \vec{T}_2' , está en la mano (fig. 10).

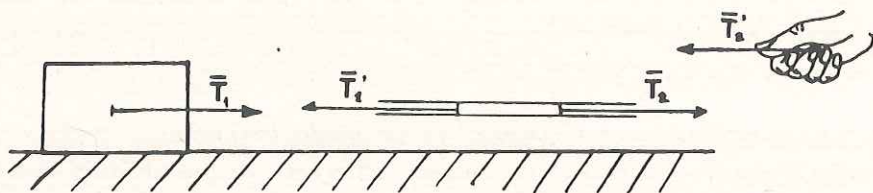


Fig. 10

Digamos, por otra parte, que la consideración del caso d) permite salir al paso de algunos errores frecuentes (suponer que la esfera de mayor masa ejerce una fuerza más grande o, sobre todo, no tener en cuenta que ambas esferas sólo se ejercen fuerzas durante el brevísimo tiempo del choque, es decir, mientras dura la interacción).

2.4. Recapitulación de los principios de la dinámica

A.20. Recapitular las nuevas magnitudes y relaciones introducidas, dando sus definiciones operativas, unidades y significado físico.

Con objeto de salir al paso de frecuentes errores relacionados con los principios de la dinámica, realizar las siguientes actividades:

A.21. Indicar razonadamente si son verdaderas o falsas las siguientes proposiciones:

- Un cuerpo sobre el que actúa una fuerza resultante nula permanecerá en reposo.
- Un cuerpo que no sufre aceleración no está sometido a fuerza alguna.
- El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- Si la velocidad de un cuerpo es nula en un instante dado es porque la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él es nula en dicho instante.

A.22. Comentar las siguientes proposiciones que ponen en cuestión los principios de la dinámica:

- Para conseguir que un carro avance con movimiento uniforme, es necesario tirar con una fuerza constante. ¿Se trata de una excepción al principio de inercia?.
- Si la acción y la reacción fueran iguales y contrarias, deberían dar resultante nula y los cuerpos no sufrirían aceleración.
- Es evidente que la Tierra atrae a los cuerpos, pero no se observa que los cuerpos atraigan a la Tierra. No parece, pues, que se cumpla el tercer principio de la dinámica.

Comentarios A.20 A.21 y A.22

Son actividades destinadas a conseguir una comprensión global y profunda de los principios fundamentales, mediante situaciones que obligan a la reflexión. Por supuesto, todas las proposiciones de la A.21 son falsas y no resulta difícil encontrar contraejemplos. Sin embargo, habitualmente las respuestas suelen ser erróneas («no sólo entre los alumnos!») mostrándose el peso de las «evidencias de sentido común», fruto de generalizaciones abusivas de ciertas experiencias cotidianas (Carrascosa y Gil, 1985).

Las proposiciones de la A.22 inciden, de nuevo, en errores frecuentes: olvido de la fricción, -posiblemente por su carácter omnipresente en las experiencias cotidianas-, consideración de la acción y reacción como fuerzas que actúan en un mismo cuerpo, etc..

A.23. Revisar la actividad A.1, identificando errores y corrigiéndolos.

A.24. Exponer el origen de los errores que se habían cometido.

Comentarios A.23 y A.24

Se trata de actividades fundamentales para lograr un cambio conceptual: las ideas intuitivas - la «física del sentido común» - expuestas en la A.1, son ahora explícitamente puestas en cuestión.

Conviene aquí referirse al proceso histórico (y a sus dificultades) asociándolo al profundo cambio metodológico que condujo desde la metodología «de la superficialidad» o «del sentido común» - basada

en generalizaciones acríticas a partir de observaciones cualitativas - a una metodología científica (Carrascosa y Gil, 1985; Gil, 1986; Hashweh, 1986) que pone en cuestión las aparentes evidencias del sentido común, imaginando otras posibilidades, sometiéndolas a contrastación en condiciones controladas, etc..

Aunque sería ilusorio pretender que a través de estas actividades se pueda conseguir un repentino cambio conceptual y metodológico, es indudable que las situaciones aquí planteadas tienen un importante efecto de cuestionamiento que conviene aprovechar al máximo.

3. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Además de la forma que acabamos de ver para operativizar el concepto de fuerza, es posible otro tratamiento que parte de la idea intuitiva de que una misma fuerza que actúe durante el mismo tiempo sobre cuerpos distintos debe producir el mismo efecto, es decir, -en palabras de Newton- la misma variación en la «cantidad de movimiento».

A.25. A partir de algunos ejemplos de objetos en movimiento, proponer, a título de hipótesis, de qué dependerá la mayor o menor «cantidad de movimiento» de un cuerpo y dar una definición operativa de acuerdo con ello.

A.26. Proponer una definición operativa de fuerza a partir del concepto de cantidad de movimiento.

Comentarios A.25 y A.26

Se trata de actividades complejas que pueden exigir una mayor intervención del profesor. Desde un punto de vista dinámico, es decir, desde el punto de vista de las fuerzas que pueden ejercerse distintos objetos en movimiento que entren en «contacto», la intuición nos dirige a resaltar la influencia de la masa y la velocidad de los cuerpos. En palabras de los alumnos: «... un tren a 100 km/h tiene mucha más «cantidad de movimiento» que un balón a esa velocidad, etc..». Con ejemplos de este tipo se llega a concretar de modo operativo que la magnitud «cantidad de movimiento» puede depender de la masa y la velocidad, es decir: $\bar{p} = m\bar{v}$. Se trata, desde luego, de una hipótesis cuya validez y utilidad sólo será comprobada a posteriori.

En la A.26, algunos grupos proponen la expresión $\bar{F} = \Delta(m\bar{v})$. Incitándoles a la consideración de distintos casos particulares, como en A.7, llegan a ver que esa expresión no nos da idea de la fuerza que actúa sobre un cuerpo, ya que una fuerza pequeña actuando durante mucho tiempo puede producir la misma variación de cantidad de movimiento que una fuerza muy grande que actuara en muy poco tiempo, de modo que finalmente se llega a proponer $\bar{F} = \Delta\bar{p}/\Delta t$.

A.27. Mostrar la coherencia de las definiciones de fuerza introducidas en A.7 y A.26, obteniendo a partir de una de ellas la otra.

Al establecer el principio de acción y reacción hemos visto que para modificar la cantidad de movimiento de un cuerpo es necesario que interactúe con otro u otros. Resulta interesante considerar el comportamiento del conjunto de todos los cuerpos que interactúan, que constituye lo que se denomina un sistema aislado.

A.28. Considerar, a título de hipótesis, qué puede ocurrir con la cantidad de movimiento de un sistema aislado (suma de las cantidades de movimiento de todos los cuerpos que lo forman) cuando las partículas del sistema interactúan.

A.29. Sugerir algún montaje experimental y/o alguna observación para mostrar, al menos cualitativamente, la conservación de la cantidad de movimiento de un sistema aislado de partículas. Indicar, también, observaciones que sugieran la no conservación.

Comentarios A.28 y A.29

Los alumnos llegan sin dificultad a decir que la cantidad de movimiento total de un sistema aislado permanecerá constante. La evidencia experimental acumulada varía desde las primeras experiencias de choques con balas de cañón, en el siglo XVII, hasta las colisiones de partículas subatómicas. El uso de carritos de distinta masa atados por una cuerda y que comprimen un muelle situado entre los dos, o los típicos retrocesos en el caso de disparos o de saltos desde una plataforma con ruedas o barca, son montajes

experimentales que apoyan el principio de conservación de la cantidad de movimiento.

Es importante, también, considerar los aparentes contraejemplos solicitados en la segunda parte de la actividad (pensemos en las interacciones en las que uno de los cuerpos posee una masa enormemente mayor que el otro, u objetos en movimiento que terminan parándose debido al rozamiento, ..), contrarrestando así la tendencia -muy general y arraigada- a no prestar atención más que a aquello que es favorable a las ideas defendidas. Sólo así, además, se puede lograr un conocimiento en profundidad.

Se debe resaltar que la cantidad de movimiento total del sistema permanece constante independientemente del tipo de interacciones internas que haya entre los cuerpos que lo forman (rozamiento, etc...). Puede ser el momento de clarificar términos como «sistema», fuerzas exteriores a un sistema (aquellas cuyas reacciones están en cuerpos que no pertenecen al sistema), y fuerzas internas. Estos conceptos serán imprescindibles para el desarrollo del tema sobre trabajo y energía.

Hecho esto, es posible enunciar el principio de conservación de distintos modos que tienen interés:

«La cantidad de movimiento total de un sistema sólo puede ser variada por fuerzas exteriores».

«las fuerzas internas pueden variar la cantidad de movimiento de las partes de un sistema, pero no la cantidad de movimiento total del mismo».

A.30. (Opcional) Una bola de 2 kg con una velocidad de 30 m/s golpea a un objeto de 10 kg que se encuentra en reposo, y sale rebotada con una velocidad de 17 m/s en la misma dirección pero sentido contrario al inicial. Calcular la velocidad del objeto después del choque.

4. FORMAS DE INTERACCION

Hasta aquí hemos hablado de fuerzas en abstracto, sin referirnos a su naturaleza u origen. Conviene ahora detenerse mínimamente a considerar los diferentes tipos de fuerzas.

A.31. Enumera todos los tipos de fuerza que conozcas.

Comentarios A.31

Habitualmente los alumnos se refieren a una gran variedad de fuerzas, -o, mejor dicho, de nombres distintos- como peso, choque, gravitación, eléctrica, magnética, centrífuga, centrípeta, nuclear, atómica, tracción, inercia, ... A modo de «provocación» el profesor señalará que todas ellas pueden reducirse a tres interacciones fundamentales, resaltando y explicando cualitativamente que, con excepción del peso, la totalidad de las fuerzas que tienen importancia en la vida cotidiana -un golpe, un tirón, etc.- son de tipo electromagnético. De forma puramente anecdótica, el profesor puede referirse a los esfuerzos actuales de unificación, y, por supuesto, indicar que se va a proceder a clarificar lo concerniente a las denominadas fuerzas de inercia. En este curso estudiaremos las fuerzas gravitatorias y electromagnéticas.

A.32. Describir lo que ocurre a un viajero que va de pie en un autobús cuando éste acelera bruscamente, e intentar una explicación.

Comentarios A.32

Como puede verse, los alumnos hacen referencia a fuerzas «hacia atrás» (designándolas o no como fuerzas de inercia). Con ello no hacen sino explicitar lo que sin duda «sienten» al encontrarse en una situación semejante -en la que se ven precipitados hacia el fondo del autobús- incluso si van sentados -en cuyo caso se sienten impelidos contra el asiento-. La existencia de fuerzas de inercia responde, pues, a evidencias de sentido común. Es preciso, por tanto, detenerse en un tratamiento cuidadoso de estas situaciones para mostrar que si el viajero se precipita aparentemente hacia atrás es precisamente porque sobre él, en la medida en que está suelto, no actúan fuerzas hacia adelante o no son lo suficientemente intensas para producirle la misma aceleración del autobús respecto al suelo. Un tratamiento detallado de estas situaciones puede encontrarse en manuales de Física General, como, por ejemplo, el de Tipler (1977).

5. LA GRAVITACION UNIVERSAL. LA SINTESIS NEWTONIANA

La observación y el estudio del movimiento de los astros ha jugado un papel importante en todas las culturas de Oriente y Occidente. Pensemos, por ejemplo, en la influencia práctica de dicho estudio para la

agricultura (estaciones del año, siembra, recolección, ..) o para la navegación (orientación, ..). No es extraño, pues, que aparezcan «observatorios astronómicos» pertenecientes a tiempos remotos o que en la antigua Egipto o Babilonia se dispusiera de detallados mapas estelares o calendarios.

Más aún, todos los pueblos a lo largo de la Historia han elaborado modelos del Universo que pudieran explicar los movimientos del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas, y estos modelos han formado parte de la ideología, las creencias o las religiones de estas sociedades.

Ideas que hoy nos parecen familiares, tales como que la Tierra atrae a todos los cuerpos, que el Sol atrae a los planetas o que estos giran alrededor del Sol, no son, ni mucho menos, evidentes y, como veremos, su establecimiento fue fruto de un proceso de siglos, en el que no faltaron ni persecuciones ni condenas a quienes mantenían ideas distintas de las establecidas como dogmas en la sociedad.

En este apartado, después de expresar algunas de nuestras propias ideas sobre el Universo, analizaremos el modelo geocéntrico de Aristóteles y Ptolomeo -que estuvo vigente casi durante 2000 años- con objeto de poder apreciar lo que supuso posteriormente el establecimiento del modelo heliocéntrico de Copérnico (1543), Kepler, Galileo, .., y, sobre todo, la síntesis producida por Newton (1686) al aplicar los principios que acabamos de ver en los apartados anteriores a los propios astros, rompiendo así la «barrera» entre el mundo celeste y el terrestre que durante siglos había sido aceptada como «natural».

A.33. Exponer las ideas que se tengan sobre el Sistema Solar.

A.34. Indica semejanzas y diferencias entre el estado de movimiento de un astronauta, fuera de su nave, en órbita alrededor de la Tierra, y el de una persona que se ha lanzado desde un avión.

A.35. Se afirma que La Tierra atrae a todos los cuerpos. Según esto, una piedra lanzada horizontalmente desde cierta altura sobre el suelo es atraída por La Tierra, al igual que La Luna. La piedra cae al suelo, ¿por qué no ocurre lo mismo con La Luna?

A.36. Si desapareciera repentinamente el peso de todos los cuerpos, señala cómo se verían afectados los siguientes movimientos:

- a) Una piedra lanzada verticalmente hacia arriba.
- b) Un objeto en caída libre.
- c) El movimiento de un satélite en órbita alrededor de La Tierra.
- d) El movimiento de la Luna alrededor de La Tierra.

Comentarios A.33, A.34, A.35 y A.36

Indudablemente, los alumnos de esta edad, no poseen un modelo geocéntrico, y en A.33 suelen aportar ideas muy ajustadas a las actuales sobre el sistema solar, que podrían interpretarse como la superación de las diferencias entre los movimientos de los cuerpos celestes y terrestres, en la medida, también, en que utilizan un vocabulario actual tan alejado de las concepciones aristotélicas, que parece relegar la barrera cielo/tierra a los tiempos de la antigua Grecia. Nada más lejos de esto. Cuando se analizan las respuestas a las actividades siguientes, se pone de manifiesto que nuestros alumnos piensan que existen diferencias esenciales entre el movimiento de los cuerpos en la, o cerca, de la superficie terrestre y el de los cuerpos muy alejados de ella (el astronauta, los cuerpos celestes como la Luna, etc...). Así, afirman, en A.34, que el astronauta no cae, no tiene peso, está en equilibrio, ..., diferenciándose su movimiento, pues, de un modo tajante del de la persona que se ha lanzado de un avión. Por supuesto, en A.35, lo que le ocurre a La Luna es muy distinto, para ellos, de lo que le ocurre a la piedra lanzada horizontalmente.

Esta clara barrera entre el mundo celeste y el terrestre, se manifiesta nuevamente en A.36, en la que la mayor parte de los alumnos explican correctamente lo que sucedería en a) y b), pero sostienen, en cambio, que el satélite y La Luna continuarían describiendo órbitas alrededor de La Tierra, pensando que o bien el peso no afecta a estos cuerpos, o no es lo mismo que la atracción gravitatoria, o que el movimiento circular y uniforme de ambos es natural o intrínseco a los mismos, no siendo afectado por algo que ocurre en la Tierra.

En definitiva, para los alumnos sí que existen asimetrías, diferencias esenciales, entre lo que ocurre con los cuerpos en la superficie de nuestro planeta y muy lejos de ella. Por supuesto, el profesor debe limitarse en estas actividades a favorecer que los alumnos expongan razonadamente sus ideas, sobre las que se volverá más adelante.

5.1. Primeras ideas sobre el Universo

A.37. Los antiguos griegos sostenían que la Tierra era el centro inmóvil del Universo y que los astros como el Sol, la Luna, ..., se movían alrededor de ella. Indicar observaciones que parezcan apoyar esta concepción.

A.38. Breve exposición por el profesor, o lectura de fragmentos seleccionados, de las características esenciales del modelo aristotélico/ptolemaico del universo.

Comentarios A.37 y A.38

Se trata de que los alumnos vean que el modelo geocéntrico no es, ni mucho menos, irracional, sino que, por el contrario, parece venir apoyado por evidencias de «sentido común» y que el lenguaje cotidiano está plagado de expresiones basadas en el geocentrismo.

Deben recordarse las características esenciales de este modelo (véase, por ejemplo, Holton (1976) y Mason (vol. I, 1984)) resaltando la clara separación entre el mundo terrestre y el celeste. Estas diferencias se concretan en su composición, -considerándose toda la materia terrestre, la que se encuentra a nuestro alcance, como una mezcla de cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego), mientras que los cuerpos celestes estaban formados solamente por un quinto elemento (la quintaesencia)- como en su comportamiento: los cuatro elementos tenían un lugar natural en la región terrestre, y el «movimiento natural», en contraposición con el «movimiento violento», de cada elemento es el movimiento en línea recta hacia su lugar natural.

Los cuerpos celestes -al contrario de los cuerpos terrestres- eran incorruptibles y eternos, siéndolo también sus movimientos, que eran circulares y uniformes, esto es, sin principio ni fin, alrededor del centro del Universo, nuestra Tierra. En resumen (Holton, 1976), aunque los cuerpos celestes están en movimiento, se encuentran en todo momento en su lugar natural.

El profesor deberá añadir algunas de las implicaciones ideológicas de este modelo que encajaban perfectamente con la tradición, filosofía y religión de la Europa de la Edad Media: papel del Hombre en el mundo, necesidad de un primer, y perpetuo, motor, la jerarquización natural, ... Aparte de los libros citados, pueden consultarse para esta actividad y la siguiente, las obras de Copérnico (edición 1983), Galileo y Kepler (edición 1984) (especialmente las introducciones y algunos fragmentos seleccionados) y, también, Drake (1980), Miliç Çapek (1973) y Gil (1981).

A.39. En 1543 se publicó la obra de Copérnico «De revolutionibus orbium coelestium» en el que se proponía un modelo de universo donde la Tierra perdía su papel central e inmóvil, que pasaba al Sol. Este modelo fue muy atacado durante más de cien años. Imaginar posibles argumentos que pudieron utilizarse contra este modelo heliocéntrico.

A.40. Breve exposición por el profesor de los trabajos e intentos de Galileo por confirmar y divulgar las ideas copernicanas.

Comentarios A.39 y A.40

Se desea evitar la exposición a priori del profesor, implicando a los alumnos en la identificación de posibles argumentos en contra del modelo heliocéntrico. Cabe esperar que junto a argumentos de tipo físico (los objetos saldrían despedidos, un objeto dejado caer verticalmente desde una torre chocaría con la pared de la misma, los cálculos de las posiciones de los planetas eran más o menos exactos, etc.), aparezcan también los argumentos ideológicos y religiosos. Puede utilizarse la introducción de Alberto Elena al libro «Nicolas Copérnico, Thomas Digges, Galileo Galilei: Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra» (Alianza Ed., 1983) donde, entre otras, se cita esta frase del propio Lutero, en 1539:

«.. un astrólogo advenedizo que pretende probar que es la Tierra la que gira, y no el cielo, el firmamento, el Sol o la Luna (...). Este loco echa completamente por tierra la ciencia de la astronomía, pero las Sagradas Escrituras nos enseñan que Josué ordenó al Sol, y no a la Tierra, que se detuviese».

Son especialmente esclarecedores los capítulos I y III, del volumen II, de la Historia de las Ciencias de Mason (1985).

Debe resaltarse también que una teoría no se abandona porque falle en alguno de sus puntos, así, una de las razones que Mason (1986) cita como causa de la no aceptación del sistema copernicano en el siglo

XVI, es que «... era tan sólo un alejamiento de especialistas respecto de la filosofía de la naturaleza integrada de Aristóteles, no formando aún parte de una visión coherente del mundo en su conjunto». Ello resalta la importancia de la síntesis newtoniana del mundo que, como se verá en las actividades siguientes, sí fue capaz de superar las concepciones aristotélicas.

El profesor puede referirse a los intentos de Galileo para verificar y, sobre todo, popularizar las ideas copernicanas, así como al papel del telescopio en estos intentos (descubrimiento de los satélites de Júpiter), y a la persecución de que fue objeto. Existen películas sobre el tema, como «Galileo» de Liliana Cavani, que podrían ser proyectadas.

Con todo, Galileo no llegó a establecer la unificación entre el comportamiento de los cuerpos en la superficie terrestre y los cuerpos celestes (pensaba que el movimiento circular uniforme era natural). Esta síntesis, que supuso un gran salto en la lucha contra la superstición y el mito, fue realizada por Newton.

5.2. De la Mecánica terrestre a la Mecánica celeste: la Gravitación Universal. Newton, Halley,

Hooke y otros abordaron el problema de los movimientos de los cuerpos celestes partiendo de los principios de la dinámica que estudiamos en los apartados anteriores. Con la nueva concepción de fuerza, el problema quedaba formulado en términos muy distintos que anteriormente. Efectivamente, según la idea newtoniana cualitativa de fuerza, expresada en el primer principio de la dinámica, «si sobre un cuerpo no actúa fuerza alguna se encontrará en reposo o movimiento rectilíneo y uniforme», esto equivale a afirmar que cualquier cuerpo que no tenga un movimiento rectilíneo y uniforme estará sometido a fuerzas. Así, pues, si La Luna describe, aproximadamente, un movimiento circular uniforme alrededor de La Tierra, es lógico, según Newton, plantearse qué fuerza debe estar actuando sobre ella para que describa dicho movimiento.

A.41. Indicar la dirección y sentido de la fuerza que debe actuar sobre La Luna para que describa órbitas circulares con velocidad constante alrededor de La Tierra, identificando el par acción/reacción.

A.42. Idem para un cuerpo en caída libre.

A.43. Señalar, a título de hipótesis, de qué factores dependerá la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos.

A.44. Proponer posibles maneras de contrastar la hipótesis anterior.

Comentarios A.41, A.42, A.43 y A.44

Se trata de que los propios alumnos utilicen sus conocimientos cinemático/dinámicos para formular la hipótesis newtoniana, concretándola para la Luna (un cuerpo «celeste») y un objeto que cae («terrestre»), identificando la atracción gravitatoria con el peso, y generalizando, en A.43, dicha hipótesis para dos cuerpos cualesquiera. Los alumnos avanzan fácilmente la dependencia de las masas de los cuerpos y de la distancia entre ellos, debiendo el profesor introducir la dependencia de la misma con el inverso del cuadrado de la distancia.

En lo relativo a la contrastación, el profesor debe referirse a la balanza de torsión de Cavendish, pero, sobre todo, aportar la idea de que la mejor comprobación de la hipótesis newtoniana vendrá dada por la concordancia entre los resultados predichos a partir de la misma y las posiciones observadas de los planetas, así como de su capacidad para explicar hechos hasta entonces incomprensibles (mareas, ...) o llegar a conclusiones obtenidas, también, por otros caminos. Conviene leer en la clase algún texto de historia de la ciencia que se refiera al triunfo de la ley de la Gravitación Universal, al deducir las leyes de Kepler o calcular con gran exactitud el período del movimiento circular de la Luna alrededor de la Tierra.

A.45. A partir de la ley de la Gravitación Universal, mostrar que la aceleración de caída libre es la misma para todos los cuerpos, independientemente de su masa (como ya vimos en cinemática).

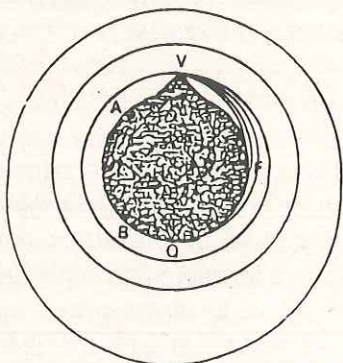
A.46. Indicar cómo variará el peso de una persona al alejarse de la superficie terrestre, y calcular su valor para una persona de 70 kg a 100, 500 y 36.000 km de altura sobre la tierra.

A.47. Solicitar al profesor los datos necesarios para calcular el peso de la Luna.

Comentarios A.45, A.46 y A.47

Se trata de actividades en las que se aúna el manejo reiterado de la expresión de la ley de gravitación con aspectos conceptuales muy importantes, como el estudio, de nuevo, de la caída de los cuerpos, la diferenciación entre masa y peso, y, la identificación de la fuerza de atracción gravitatoria con el peso (algo contrario a lo que piensan muchos alumnos, como se indicó en las actividades iniciales).

A.48. El siguiente párrafo y dibujo de Newton, expresa la conexión que estableció la LGU entre los movimientos de objetos en la Tierra y el movimiento de objetos celestes, como la Luna. Explicar por qué.



«El que los planetas puedan ser retenidos en sus órbitas», escribió, «es algo que podemos comprender fácilmente si consideramos los movimientos de los proyectiles. En efecto, una piedra arrojada, por su propio peso, se ve forzada a abandonar la trayectoria rectilínea... viéndose obligada a describir una línea curva en el aire, y merced a este camino torcido se ve finalmente llevada al suelo. Y cuanto mayor sea la velocidad con la que se proyecta, más lejos va antes de caer a tierra. Podemos suponer por tanto que la velocidad se incrementa de tal modo que describa un arco de (muchas) millas antes de llegar a la tierra, hasta que finalmente, excediendo de los límites de la tierra, pasará totalmente sin tocarla».

Comentarios A.48

Esta analogía entre el movimiento de un proyectil y el de un cuerpo celeste como la Luna, representa el paso que hasta entonces nadie, ni el propio Galileo, había dado: no hay ninguna diferencia esencial entre el movimiento de ambos, se trata de la combinación entre el movimiento rectilíneo y uniforme que tendrían si no actuara la fuerza gravitatoria y el movimiento rectilíneo acelerado de caída debido a la atracción gravitatoria, al peso. La diferencia viene determinada únicamente por la velocidad horizontal de ambos movimientos.

A.49. Revisar a la luz de lo visto hasta aquí, las actividades A.34, A.35 y A.36, identificando los errores que se cometieron en su realización.

5.3. Introducción al campo gravitatorio (Opcional)

Las atracciones gravitatorias entre objetos alejados plantean dificultades de interpretación que conviene abordar.

A.50. La ley de la Gravitación Universal determina el valor de la fuerza que se ejercen dos cuerpos de masas M y m separados a una distancia r . Pero, ¿cómo tiene lugar la interacción entre objetos separados entre sí?. Sugerir alguna idea al respecto.

Comentarios A.50

La cuestión anterior no es evidentemente fácil de contestar. El propio Newton se resistía a formular hipótesis sobre este problema (aunque no pudo, evidentemente, evitarlo: en su *Optica* (Libro III, parte I, véase la edición de Alfaguara, 1977) defiende que las fuerzas gravitatorias eran debidas a la existencia de un medio etéreo estacionario que llenaba todo el espacio, compuesto por partículas diminutas que se repellen entre sí). Una pequeña discusión con los alumnos permite, sin embargo, que adquieran conciencia del problema y que el profesor comente brevemente la evolución de las ideas a este respecto. Puede hacer referencia así, a la idea de «acción a distancia», aceptada sin más por algunos científicos pero denostada por otros (Huygens y Leibnitz, entre otros), que consideraban necesaria la existencia de un soporte material para la interacción entre cuerpos distantes. Conviene, sin embargo, posponer este debate y abordar el problema de la interacción desde un punto de vista meramente fenomenológico. Desde esta concepción se introdujo la idea de «campo gravitatorio» para designar a aquellas zonas del espacio en las que los cuerpos se ven sometidos a fuerzas gravitatorias.

- A.51. ¿Cómo se podría detectar la presencia de un campo gravitatorio en un punto dado del espacio?. ¿De qué forma podría determinarse si dicho campo es débil o intenso?. Introducir una magnitud que nos pueda indicar la intensidad del campo en un punto.

Comentarios A.51

El procedimiento más simple para constatar si en un punto dado existe campo gravitatorio (gravedad) es -como los mismos alumnos sugieren- colocar en dicho punto un cuerpo y ver si está sometido o no a una fuerza. En cambio, esta fuerza no nos da una idea de lo intenso que es el campo en dicho punto, ya que el valor de la misma, según la LGU, dependerá del valor de la masa del cuerpo colocado en dicho punto (del mismo modo que el precio global de una cantidad de manzanas no nos da idea de lo caras que son). Es necesario, pues, si deseamos comparar intensidades en distintos puntos y situaciones, queelijamos una masa patrón fija. Esta masa es 1 kg, o lo que es lo mismo, la intensidad del campo gravitatorio en un punto nos indica la fuerza que sufriría un cuerpo de 1 kg situado en dicho punto, es decir, $\vec{E}_g = \vec{g} = \vec{F}/m$.

- A.52. Señalar qué significa que la intensidad del campo gravitatorio en un punto es 8'5 N/kg.
- A.53. Calcular la intensidad del campo gravitatorio en la superficie terrestre y a 650 km de la misma ($G = 6'67 \cdot 10^{-11}$; $R_T = 6350$ km; $M_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg).
- A.54. Hallar el peso de un astronauta de 70 kg en los dos casos anteriores y la aceleración del movimiento si estuviera en caída libre.

5.4. La Síntesis Newtoniana: el triunfo de la Mecánica

- A.55. Recapitular, partiendo del tema sobre la «Física del sentido común» las ideas que se tenían inicialmente sobre el movimiento, las fuerzas y la gravitación y cómo se han visto modificadas por el desarrollo del curso.
- A.56. Reflexionar sobre los principios fundamentales de la mecánica newtoniana para extraer la imagen del comportamiento de la materia que proporcionan. Comparar con la imagen aristotélico/escolástica.

Comentarios A.55 y A.56

Con la primera de estas actividades se pretende que los alumnos recopilen sus ideas iniciales sobre los aspectos que han sido abordados en el curso, y los enfrenten a una estructura coherente y global capaz de sustituir todas las ideas iniciales, superando las contradicciones, las explicaciones ad hoc. En efecto, trabajos como los de Strike y Posner (1983), o Hashweh (1986), apuntan en la dirección de que no basta con luchar contra los procesos cognoscitivos y las estrategias de asimilación «naturales» de los alumnos, desafiando la metodología de la superficialidad e intentando que los alumnos adquieran una metodología de características análogas a las del trabajo científico. Es necesario, al mismo tiempo, que los conocimientos se estructuren en cuerpos coherentes que puedan sustituir en múltiples puntos -o desarrollar y consolidar, en su caso-, de un modo global, la imagen inicial del alumno en un determinado campo.

El paralelismo con el proceso de superación del paradigma aristotélico/escolástico es evidente. Una de las causas fundamentales que pueden explicar que la concepción aristotélica del mundo estuviera vigente durante más de veinte siglos, era su carácter de visión globalizadora universal. Así, aunque algunos de sus aspectos más deficientes fueron criticados en distintas épocas, -por ejemplo, en el siglo V, John Philoponus ya atacaba la tesis aristotélica sobre la caída de los cuerpos, el modelo de Copérnico, ...-, por su carácter aislado tuvieron poco efecto. La superación del paradigma aristotélico sólo fue posible con los trabajos de Newton y colaboradores, es decir, cuando se dispuso de una construcción global y coherente (el mecanicismo, el mundo como máquina) capaz de sustituir la visión del mundo dada por Aristóteles (Mtnz. Torregrosa, 1987). Se comprende, pues, la importancia de estas dos actividades en el desarrollo del curso, que pueden ser completadas con la revisión mediante cuestionarios elaborados por el profesor de aquellos preconceptos más resistentes al cambio y de aspectos claves para la asimilación significativa de la mecánica newtoniana. Para una mayor profundización en la A.21, pueden consultarse los trabajos de Milic Čapek (1973), Holton (1976) y Gil (1981).

6. RESOLUCION DE PROBLEMAS DE MECANICA A LA LUZ DEL CUERPO TEORICO DESARROLLADO

La mejor prueba de la validez y coherencia de la dinámica newtoniana estriba en su éxito en la resolución de problemas mecánicos, prediciendo con extraordinaria precisión los resultados experimentales. Puede decirse que, cada vez que un tren se desplaza o se coloca un satélite en órbita se está verificando la validez del cuerpo de conocimientos que conocemos como mecánica newtoniana.

- A.57. Sobre un cuerpo en reposo, empieza a actuar una fuerza, ¿qué distancia recorrerá?.
- A.58. Se lanza un cuerpo sobre una mesa, ¿se caerá de la mesa?.
- A.59. Una cuerda tira de un cuerpo hacia arriba, ¿cuál es su aceleración?.
- A.60. ¿Chocará el tren con el obstáculo?.
- A.61. Una bala se incrusta en un bloque de madera. Calcular la velocidad del conjunto después del impacto.

Comentarios a la resolución de problemas

Se trata de sencillos problemas como investigaciones que pueden ser desarrollados sin dificultad según la metodología presentada para la resolución de problemas (ver apéndice correspondiente al final del libro).

7. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.62. Estimar el valor de distintas fuerzas en newtones (el profesor o los alumnos pueden proponer ejemplos concretos).
- A.63. La gráfica de la rapidez en función del tiempo para un móvil de masa 2 kg es la de la figura 11. Dibujar la gráfica de la fuerza sobre la trayectoria en función del tiempo.
- A.64. Sobre un cuerpo de 2 kg, inicialmente en reposo, actúa una fuerza cuyo valor muestra la gráfica de la figura 12.
- Representar las gráficas v-t y e-t.
 - Hallar la distancia recorrida en los 16 s.

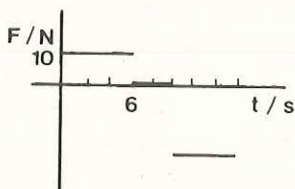


Fig. 11

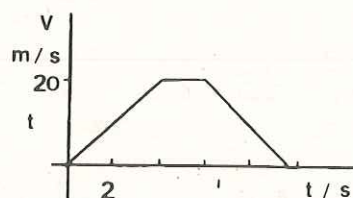


Fig. 12

- A.65. Concebir y realizar una investigación (desde el planteamiento preciso del problema hasta el análisis de resultados y elaboración de informe) sobre las fuerzas elásticas. En concreto se desea encontrar la relación que existe entre la fuerza que se le hace a un muelle y lo que se estira (Ley de Hooke).
- A.66. A partir de los resultados anteriores construir un instrumento que sirva para medir fuerzas (dinamómetro).
- A.67. a) Dibujar la fuerza que actúa sobre una esfera de un péndulo cuando está bajando, en el punto más bajo y en su punto más alto. b) Dibujar las fuerzas que se ejercen dos cargas, una de las cuales es doble que la otra.

Comentarios A.67

El profesor propondrá algunas actividades al final del tema, para detectar la persistencia de preconcepciones erróneas.

- A.68. Recoger aquellas observaciones, nociones o frases cotidianas que apoyen o se basen en un modelo geocéntrico.
- A.69. Hacer un seguimiento de noticias de la prensa relacionadas con la gravitación (viajes espaciales, ...), e identificar posibles errores que se cometan.
- A.70. Realizar observaciones de las estrellas, durante varios días y a distintas horas, con el fin de conocer las constelaciones más importantes, los planetas, ...

TRABAJO Y ENERGIA

INTRODUCCION

El estudio del movimiento realizado hasta aquí lo hemos basado en el uso combinado de las ecuaciones de la dinámica -que conducen al cálculo de las aceleraciones- y de la cinemática, que permiten determinar posiciones y velocidades en función del tiempo. Pero ya el mismo Galileo se planteaba el problema de si existe alguna relación entre el desplazamiento experimentado por un cuerpo mientras sobre él actúa una fuerza y el cambio de velocidad que se produce. Esta búsqueda de relaciones directas entre fuerzas, desplazamientos, etc, condujo, a lo largo de un sinuoso proceso de más de 150 años, a la introducción de nuevas magnitudes físicas -en particular a los conceptos de TRABAJO y de ENERGIA- y al establecimiento de relaciones que iban a mostrar una gran potencia explicativa y predictiva.

Desarrollaremos este tema de acuerdo con el siguiente índice:

1. Conceptos cualitativos de trabajo y energía
 - 1.1. Idea cualitativa de trabajo
 - 1.2. Idea cualitativa de energía
 - 1.3. Formas de energía
2. Definición operativa y manejo de la magnitud trabajo
 - 2.1. Definición operativa de trabajo
 - 2.2. Cálculo del trabajo en diferentes situaciones
 - 2.3. Medida de la eficacia en la realización de trabajo
3. Profundización en el concepto de energía. Tratamiento cuantitativo.
 - 3.1. Profundización de las relaciones trabajo/energía
 - 3.2. Energía cinética
 - 3.3. Energía potencial gravitatoria
4. Establecimiento del principio de conservación y transformación de la energía
 - 4.1. Consideraciones cualitativas en favor y en contra del principio
 - 4.2. Establecimiento experimental del principio
5. Resolución de problemas (mostrando tanto la potencia del nuevo tratamiento como su coherencia con el cinemático/dinámico)
6. Actividades complementarias

1. CONCEPTOS CUALITATIVOS DE TRABAJO Y ENERGIA

1.1. Idea cualitativa de trabajo

- A.1. Considerar diversos ejemplos de lo que se entiende por trabajo en la vida corriente y establecer a partir de los mismos el concepto cualitativo de trabajo

Comentarios A.1.

Digamos de entrada que esta actividad permite superar las habituales introducciones puramente operativas, carentes de significado físico que proporciona, precisamente, la discusión cualitativa.

Como en tantos otros casos, esta discusión permite conectar con las ideas que los alumnos ya tienen: En la exposición de los distintos grupos aparecen las ideas de cambio (transformación,...) y de fuerza

(esfuerzo,...). Tras la puesta en común la clase puede llegar así al concepto cualitativo de trabajo como «la transformación de la materia a través de las interacciones, es decir, por la acción de fuerzas» o cualquier expresión semejante que expresa con bastante propiedad una primera idea de trabajo (Maxwell 1952)

Pero sería didácticamente incorrecto pasar por alto la frecuente confusión entre trabajo y esfuerzo. Se trata de un error conceptual bastante generalizado (aunque «inconstante» es decir, que aparece o no según las situaciones) como se pondrá en evidencia, p.e., en la actividad A.9. Conviene, pues, detenerse en esta y otras posibles confusiones abordando los ejemplos propuestos por los alumnos. Así, la cuestión «¿Se trabaja cuando se está sosteniendo un objeto? exige una respuesta matizada. Parece evidente que el objeto (si es indeformable) no sufre transformaciones. Sin embargo, la impresión de estar realizando trabajo que los alumnos tienen no es errada: el propio sujeto que soporta al objeto experimenta transformaciones (su corazón va más aprisa, transpira,...)

Por último hay que insistir en que la comprensión del concepto no puede lograrse sin profundizar más en el mismo y sin tener en cuenta sus relaciones con el concepto asociado de energía, al que se refieren también los alumnos desde el primer momento. De hecho existe una polémica (Sextl 1981; Duit 1981; Warren 1982) sobre la conveniencia de comenzar introduciendo el concepto de trabajo antes del de energía o viceversa. En nuestra opinión es preferible una introducción prácticamente simultánea como la que se propone en este programa guía. Consideramos conveniente, pues, introducir ahora el concepto cualitativo de energía antes de pasar al tratamiento cuantitativo de la magnitud trabajo.

1.2. Idea cualitativa de energía

A.2. Exponed las ideas cualitativas que poseáis sobre el concepto de energía

A.3. Partiendo del concepto cualitativo de energía sugerir que relación cabe esperar entre el trabajo realizado por un sistema y la energía de que este dispone.

Comentarios A.2 y A.3

Hay que señalar que la idea de energía como «capacidad de un sistema para realizar trabajo» (o para transformar la materia, etc) surge sin dificultades aparentes.

La actividad A.3, por su parte, conduce a expresar la idea de que, al realizar trabajo, el sistema consume energía, experimenta una variación de energía. Por supuesto esta idea (que puede concretarse en una hipotética relación entre el trabajo W y las variaciones de energía ΔE : $W = \Delta E$) es aún muy imprecisa y habrá de ser profundizada. Pero de entrada permite comprender mejor los ejemplos de realización de trabajo en situaciones de la vida práctica considerados en A.1. Así puede entenderse más claramente por qué al sostener un objeto se realiza trabajo (asociado a una disminución de energía del sujeto)

Insistimos en que la supuesta relación $W = \Delta E$ es muy imprecisa, pero conviene posponer la profundización hasta introducir y manejar la definición operativa de trabajo.

1.3. Formas de energía

A.4. Enumerar las distintas formas de energía que conozcáis

A.4.(bis) Indicar, para cada una de las formas de energía consideradas, en qué está basada su capacidad de realizar trabajo, de transformar la materia.

Comentarios A.4 y A.4(bis)

En la actividad A.4. los alumnos enumeran toda una serie de formas de energía, mezcla de denominaciones presentes en libros, prensa, etc. Resalta el desorden de esta enumeración, que la actividad A.4(bis). debe contribuir a superar haciendo ver el carácter cinético de algunas denominaciones (energía eólica,...) y el carácter potencial de las demás (¡no sólo la potencial gravitatoria!). En definitiva ha de quedar claro que, como se explica en Alonso-Finn (1971), toda energía de un sistema, o es cinética - asociada al movimiento relativo de unos objetos respecto a otros- o es potencial, es decir, «en potencia», asociada a las fuerzas del sistema (gravitatoria, electromagnética, nuclear) y avanzar que, por supuesto, no se debe hablar de energía térmica o calorífica, error conceptual muy frecuente todavía incluso en algunos textos y que es necesario deshacer en el capítulo siguiente. Conviene también dejar de utilizar la expresión «energía mecánica» (cinética más potencial gravitatoria); en efecto, la única energía mecánica sería la cinética (ver a este respecto, de nuevo, el Alonso-Finn)

2. DEFINICION OPERATIVA Y MANEJO DE LA MAGNITUD TRABAJO

2.1. Definición operativa de trabajo

A.5. Limitándonos al dominio de las transformaciones mecánicas que venimos estudiando, proponer una definición operativa de trabajo basada en el concepto cualitativo que acabamos de establecer.

Comentarios A.5

La definición operativa $W = F \cdot d$ que los alumnos proponen (y que conviene aceptar inicialmente, pese a sus indudables limitaciones) aparece ahora como consecuencia del concepto cualitativo y así debe ser verbalizado por los alumnos, al menos en lo que se refiere a la inclusión de ambos factores (la fuerza F y el desplazamiento Ae). Pero la idea de una proporcionalidad directa de ambos factores es una simple hipótesis que debe ser profundizada, evitando así respuestas memorísticas (los alumnos conocen sin duda la definición operativa, aunque probablemente nunca la hayan razonado); esto es lo que se persigue con la actividad A.5 (bis).

A.5.(bis) Analizad las siguientes expresiones y razonad en qué medida pueden ser consideradas como definiciones operativas correctas de la magnitud trabajo:

- a) $W = F/d$; b) $W = F + d$; c) $W = F \cdot d^2$; d) $W = F \cdot d$; e) $W = F \cdot t$

Comentarios A.5(bis)

Esta actividad obliga a centrarse significativamente en la forma en que F y d influyen. Así, los alumnos rechazan fácilmente la definición a) (que supondría realizar más trabajo cuanto menor fuera el desplazamiento) y la b) (tanto por lo absurdo de sumar magnitudes no homogéneas como porque según dicha expresión podría haber trabajo en ausencia de fuerza o de desplazamiento). Mayor dificultad presenta la c), pero los alumnos llegan a ver que según la misma, un labrador que trazara cuatro surcos habría trabajado 16 veces más que el que trazó un sólo surco, lo que no responde, al menos intuitivamente a lo que cabe suponer. Naturalmente estas reflexiones cualitativas no «demuestran» la validez o falsedad de una definición, aunque ayuden a concretar las hipótesis. Este carácter de hipótesis de las definiciones operativas debe ser resaltado: las definiciones no son ni arbitrarias ni «descubrimiento» de algo presente en la naturaleza. Y, por supuesto, sólo la coherencia del cuerpo de conocimientos obtenido permitirá validarlas. Puede resultar interesante recordar aquí la definición clásica de fuerza ($F = k a$) que ha quedado verificada por todos los resultados de la dinámica, mientras la definición «de sentido común» ($F = k v$) conduce a resultados absurdos.

A.6. En numerosas ocasiones, la fuerza que actúa sobre un cuerpo no lleva la dirección del desplazamiento. Considerar algunos ejemplos en que ello ocurra y discutir si la definición operativa de trabajo introducida es válida en esos casos o debe ser modificada.

Comentarios A.6

Con esta actividad se trata de favorecer la generalización del concepto de trabajo. Particular atención hay que prestar a la confusión relativamente frecuente consistente en suponer que una fuerza «hace más trabajo» si no lleva la dirección del desplazamiento. Una vez más aparece aquí la confusión entre trabajo y esfuerzo: hacer más trabajo se confunde con «necesidad de aplicar una fuerza mayor para conseguir el mismo efecto»

Conviene además utilizar distintas formas para expresar el trabajo (fundamentalmente en función de las fuerzas tangenciales F_t , o haciendo aparecer el coseno) lo que ayudará, sin duda, a profundizar en el significado del concepto de trabajo. Y puede ser conveniente contemplar las situaciones en que la fuerza varía (al menos para fijar el campo de validez de las expresiones introducidas)

A.7. A partir de la definición operativa de trabajo definir la unidad internacional de esta magnitud.

Comentarios A.7

Hay que insistir aquí en la necesidad de evitar definiciones del tipo « $1 \text{ N} \times 1 \text{ m}$ » carentes de todo significado. Al hacerlo, los alumnos llegan a proponer una definición más física como «trabajo que se realiza cuando una fuerza de 1 N se desplaza 1 m »

A.7.(bis). Proponer ejemplos de trabajo dando una estimación de su valor en unidades internacionales.

Comentarios A.7.(bis)

Insistimos en que estas actividades de «materialización» son muy convenientes para familiarizar a los alumnos con estimaciones reales.

2.2. Cálculo del trabajo en diferentes situaciones

Propondremos ahora algunos ejemplos de utilización de esta magnitud en diversas situaciones con objeto de facilitar su correcta comprensión y profundización.

A.8. Un niño arrastra un trineo por tierra mediante una cuerda que forma un ángulo de 60° con la horizontal. Si la tensión de la cuerda es de 50 N ¿qué trabajo realizará al desplazarlo 8 m?

A.9. Se ha de subir un tonel a un camión desde el suelo. Considerar cualitativamente cuando se realiza más trabajo: al elevar directamente el tonel o al utilizar un plano inclinado

A.10. Calcular el trabajo realizado por la fuerza F (de 10 N) en cada uno de los casos representados en la figura adjunta para un desplazamiento de 2 m. Realizad los comentarios pertinentes.



A.11. Realizar las consideraciones cualitativas pertinentes acerca del trabajo realizado durante el giro de la Luna alrededor de la Tierra

A.12. Se lanza un cuerpo de 2 Kg hacia arriba, sube 20 m y cae. Calcular el trabajo realizado por la fuerza peso: a) durante la subida; b) durante la bajada; c) en el trayecto total. Interpretar los resultados

A.12.(bis) Un cuerpo se desplaza desde A a B (separados 3 m), sometido a una fuerza de fricción de 14 N y regresa después al punto de partida (sometido a la misma fricción). Calcular el trabajo realizado: a) en el trayecto de A a B; b) en el trayecto de regreso; c) en el trayecto total. Interpretar los resultados

Hasta aquí nos hemos planteado el cálculo del trabajo cuando está actuando una sola fuerza. Veamos ahora dos ejemplos en que actúan más de una.

A.13. Dos fuerzas F_1 y F_2 (de 100 N y 40 N respectivamente) actúan sobre un cuerpo en la forma indicada en el gráfico adjunto. Calcular el trabajo realizado cuando el cuerpo se desplaza 20 m en la dirección de F_1



A.14. Se eleva 20 m un cuerpo de 15 Kg mediante una fuerza vertical igual a su peso (en un lugar donde $g = 9.8 \text{ N/Kg}$). Calcular: a) el trabajo realizado por la fuerza de la gravedad (fuerza conservativa del sistema cuerpo/Tierra); b) el trabajo realizado por la fuerza que tira del cuerpo hacia arriba (fuerza exterior del sistema); c) el trabajo resultante de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

Comentarios apartado 2.2

La actividad A.8. es muy simple y los alumnos no tienen dificultad en realizarla (es, por supuesto, conveniente introducir algunas actividades sencillas que den seguridad y refuercen la idea de avance). Pero, pese a esta simplicidad, la actividad puede servir también para afianzar el manejo de la definición operativa de trabajo en las distintas formas introducidas.

En la actividad A.9. los alumnos responden habitualmente que se hace menos trabajo subiendo el tonel por el plano inclinado, con lo que se pone en evidencia la confusión trabajo/esfuerzo y se puede así insistir de nuevo en el concepto cualitativo de trabajo (¿Acaso la transformación lograda no ha sido la misma?)

y en el error de considerar la variación de un único factor («menos fuerza menos trabajo») olvidando el otro («más desplazamiento...»)

La actividad A.10. produce algunas discusiones interesantes en torno a cuestiones como «¿Tiene sentido un trabajo negativo?» o «¿Como puede ir el cuerpo hacia delante si la fuerza actúa hacia atrás?» que revelan el peso de los preconceptos.

La consideración cualitativa de lo que ocurre con la energía (que el profesor puede solicitar si no surge espontáneamente) puede ayudar a entender el resultado. De este modo los alumnos comprenden que en el caso b) el trabajo sea nulo, no sólo por razones operativas (al ser $F_t = 0$), sino por considerar que el objeto no se acelera y por tanto no hay variación de energía. Más aún, pueden asociar el resultado negativo del trabajo en c) con la disminución de energía que implica.

La actividad A.11. está introducida para, una vez más, afianzar la relación cualitativa entre trabajo y energía (que por supuesto no varía durante el giro de la Luna) y, al propio tiempo, insistir en que si las fuerzas son perpendiculares a la trayectoria no realizan trabajo.

Las actividades A.12. y A.12(bis) permiten constatar las diferencias entre los resultados correspondientes a fuerzas como las gravitatorias y otras como las de fricción. La interpretación de los resultados (haciendo intervenir cualitativamente las variaciones de energía) permite la introducción de los conceptos de fuerzas «conservativas» y «disipativas» y será útil más adelante para la comprensión de las relaciones trabajo/energía.

La actividad A.13. es resuelta por algunos grupos calculando el trabajo de cada fuerza y sumando algebraicamente el resultado, mientras otros calculan el trabajo de la fuerza resultante. La identidad de los resultados obtenidos permite insistir en el carácter escalar, algebraico de la magnitud trabajo.

La actividad A.14. permite introducir y diferenciar los conceptos de trabajo interior, W_{int} (trabajo de las fuerzas conservativas del sistema), trabajo exterior W_{ext} (trabajo de las fuerzas exteriores) y trabajo resultante W_{res} . Se trata de una distinción absolutamente necesaria, como se ve más adelante, para la correcta comprensión de las relaciones trabajo/energía.

2.3. Medida de la eficacia en la realización de trabajo: concepto de potencia

En la vida cotidiana no interesa tanto el trabajo como la eficacia con que este se realiza. Abordaremos esta cuestión en las siguientes actividades:

- A.15. Proponer una definición operativa de una magnitud que mida la mayor o menor eficacia con que se realiza el trabajo.
- A.16. Definir la unidad internacional de la nueva magnitud introducida
- A.17. Dar estimaciones aproximadas del valor de la potencia para algunos ejemplos reales (motor de ascensor, persona subiendo escalera,...)
- A.18. El KWh (Kilovatio-hora) es una unidad de trabajo muy utilizada. Dar una definición de la misma y calcular su equivalencia con el julio.

Comentarios al apartado 2.3

En la actividad A.15, aunque la mayor parte de los grupos parten de la idea de que, p.e., una máquina eficaz es la que realiza mucho trabajo en poco tiempo (lo que conduce directamente a introducir la relación $W/\Delta t$ como medida de la «eficacia»), algunos alumnos o el mismo profesor pueden hacer referencia a que se trata de un planteamiento puramente cuantitativo que deja de lado el aspecto «calidad».

3.PROFUNDIZACION EN EL CONCEPTO DE ENERGIA. TRATAMIENTO CUANTITATIVO

3.1. Profundización en las relaciones trabajo/energía

En el apartado 1 se introdujo una idea cualitativa de energía como capacidad para realizar trabajo y se sugirió, a modo de conjetura aún muy imprecisa, una relación entre trabajo y variaciones de energía $W = \Delta E$

A.19. Admitiendo que ΔE represente la variación de energía total de un sistema físico ¿qué significado habría que dar -siempre a título de hipótesis- a W en la relación $W = \Delta E$?:

- el trabajo de las fuerzas exteriores al sistema
- el trabajo de las fuerzas interiores
- el trabajo de la fuerza resultante

Razonad cualitativamente la respuesta a partir de algún ejemplo concreto (p.e., «se levanta un cuerpo tirando de él hacia arriba con una fuerza igual a su peso»)

Vamos ahora a intentar profundizar en las relaciones trabajo/energía, considerando las variaciones de energía potencial asociadas, como ya hemos visto, a la existencia de determinadas fuerzas en el interior de un sistema (gravitatorias, eléctricas,...).

A.20. Consideremos algunas situaciones como las siguientes:

- levantamos un objeto
- acercamos dos cuerpos cargados del mismo signo
- tensamos un arco
- ...

¿Como es la variación de energía potencial en cada uno de estos casos?. ¿Y el trabajo de la fuerza interior del sistema? ¿Qué ocurre con la energía potencial, cuando dejamos el cuerpo, soltamos el arco, etc? ¿Como es ahora el trabajo de las fuerzas del sistema? Partiendo de estos ejemplos establecer, a modo de hipótesis, la relación entre el trabajo realizado por la fuerza interior conservativa y la variación de la energía potencial asociada al sistema.

A.21. Considerar, a la luz de la hipótesis introducida en A.20, cual sería la variación de la energía potencial en las tres situaciones a, b y c de la actividad A.12.

A.22. Recordar qué fuerza hay que considerar para determinar los cambios de movimiento de un cuerpo. Según ello ¿qué trabajo (interior, exterior o resultante) habrá de relacionarse con las variaciones de la energía cinética?. Expresad dicha relación a modo de hipótesis

A.23. Considerar, a la luz de la hipótesis introducida en A.21, cual sería la variación de energía cinética en las tres situaciones a, b y c de la actividad A.12.

A.24. Acabamos de proponer de manera intuitiva y a título de simples hipótesis, independientes unas de otras, las siguientes relaciones trabajo/energía:

$$a) W_{\text{ext}} = \Delta E_{\text{T total}}; b) W_{\text{int. cons}} = -\Delta E_{\text{p}}; c) W_{\text{res}} = \Delta E_{\text{c}}$$

Mostrar como, teniendo en cuenta dichas relaciones y que, evidentemente,

$$W_{\text{res}} = W_{\text{ext}} + W_{\text{int}}$$

se llega a la expresión totalmente coherente

$$\Delta E_{\text{T}} = \Delta E_{\text{p}} + \Delta E_{\text{c}} \text{ (y viceversa)}$$

A.25. Aplicar las tres relaciones trabajo/energía introducidos a la situación planteada en la actividad A.12.

Mostrar que se cumple

$$\Delta E_{\text{T}} = \Delta E_{\text{c}} + \Delta E_{\text{p}}$$

Comentarios al apartado 3.1.

Las relaciones trabajo/energía no suelen presentarse con claridad ni siquiera en los textos universitarios. La A.20. permite, a los alumnos, sin embargo, intuir que cuando las fuerzas conservativas de un sistema actúan libremente (es decir, cuando el W_{int} es positivo) se produce una disminución de la energía potencial, lo que puede expresarse $W_{\text{int}} = -\Delta E_{\text{p}}$

En la A.22, partiendo del hecho de que los cambios de velocidad están relacionados con la fuerza resultante, los alumnos pueden establecer, siempre a título de hipótesis, que $W_{\text{res}} = \Delta E_{\text{c}}$.

Ambas relaciones vienen a añadirse a la primera introducida ($W = \Delta E$) que ahora puede reescribirse (A.19) $W_{\text{ext}} = \Delta E_{\text{Total}}$

La actividad A.24. muestra la coherencia de las tres relaciones trabajo/energía introducidas, lo que supone un indudable apoyo a su validez (pensemos que han sido introducidas como hipótesis independientes).

Pero una vez más hay que insistir en que sólo la coherencia de todo el edificio teórico desarrollado y su adecuación para predecir y dar cuenta de los hechos validará las definiciones introducidas y las relaciones hipotetizadas.

Las actividades A.21, A.23 y A.25 actúan de refuerzo.

Hemos introducido hasta aquí de forma intuitiva las relaciones trabajo/energía. Es preciso ahora profundizar en estos conceptos y relaciones, pasando a su tratamiento cuantitativo y contrastando su validez en el aborde de los problemas.

3.2. Energía cinética

A.26. Señalar, a título de hipótesis, de que factores dependerá la energía cinética de un cuerpo que se mueve respecto a otros.

A.27. Aplicad la relación $\Delta E_c = W_{res}$ para obtener la expresión de la energía cinética en función de los factores de que se considera depende (poniendo el trabajo en función de dichos factores)

A.28. Sobre un cuerpo de 15 Kg se realiza un trabajo resultante de 5000 J. ¿qué velocidad adquirirá?

A.29. Calcular el trabajo necesario para aumentar la velocidad de un cuerpo de 40 kg desde 25 a 50 m/s.

Comentarios apartado 3.2.

La actividad A.26. es una nueva ocasión para ejercitar el pensamiento divergente y conduce a los alumnos a expresar la energía cinética en función de la velocidad y de la masa. Ello permite orientar el trabajo solicitado en A.27. : se trata de utilizar la relación $W_{res} = \Delta E_c$ expresando W_{res} en función de m y v , lo que conduce, de forma bastante elemental, a la conocida expresión de la energía cinética

Las actividades A.28 y A.29. son meros ejercicios de aplicación sin dificultades.

3.3. Energía potencial gravitatoria

De todas las formas de energía potencial consideradas vamos a ocuparnos aquí únicamente de la energía potencial gravitatoria del sistema constituido por la Tierra y un objeto próximo a ella.

A.30. Indicad de que factores cabe suponer dependerá la energía potencial gravitatoria cuando se tiene un cuerpo en las proximidades de la superficie terrestre

A.31. Concebir una estrategia para obtener la expresión de las variaciones de la energía potencial gravitatoria del sistema constituido por la Tierra y un objeto situado en las proximidades de su superficie. Proceder a resolver el problema planteado y analizar el resultado obtenido.

A.31. (variante) Aplicad la relación $\Delta E_p = -W_{int\ cons}$ para obtener la variación de energía potencial gravitatoria que estamos considerando.

A.32. Un cuerpo de 5 Kg se encuentra a 2 m del suelo de una habitación que, a su vez, está a 15 m sobre la calle. Hallar la energía potencial referida al suelo de la habitación y al suelo de la calle. El cuerpo se deja ahora en libertad y cae hasta el suelo de la habitación. Hallar la variación de energía potencial utilizando como sistemas de referencia el suelo de la habitación y la calle. Comentar los resultados.

Comentarios apartado 3.3.

De nuevo la actividad A.30. es ocasión de practicar la emisión de hipótesis. Como vemos, plantear actividades de pensamiento divergente es relativamente simple, lo que hace aún más inexplicable su práctica ausencia de los textos usuales.

La actividad A.31. pretende que los propios alumnos piensen en la relación $\Delta E_p = -W_{int}$ como estrategia para obtener la variación de energía potencial gravitatoria (considerando, por ejemplo, la caída de un cuerpo a lo largo de una altura h y poniendo el trabajo de la fuerza gravitatoria en función de m , g y h . Esta actividad puede hacerse más explícita (y más sencilla), si necesario, utilizando la variante de A.31.

Por último, la actividad A.32. permite a los alumnos constatar el carácter relativo de las energías potenciales (respecto al nivel tomado como origen de alturas) y el carácter absoluto de las variaciones. Puede pensarse en una actividad semejante para las energías cinéticas.

Conviene llamar la atención sobre el error cometido en ocasiones por los alumnos, consistente en dar a g (en la expresión mgh) valores negativos o positivos «según el sistema de referencia» (fijación funcional adquirida en cinemática y que aquí, por supuesto carece de sentido).

4. ESTABLECIMIENTO DEL PRINCIPIO DE CONSERVACION Y TRANSFORMACION DE LA ENERGIA

4.1. Consideraciones cualitativas en favor y en contra del principio

Todo el mundo conoce, llegado a este nivel educativo, la existencia del principio de conservación de la energía. Resulta, sin embargo, interesante profundizar en las razones que lo avalan, más allá de la simple aceptación de lo que hemos visto escrito o se nos ha presentado como hecho incuestionable.

A.33. Exponer posibles argumentos cualitativos en favor y en contra del cumplimiento del principio de conservación de la energía. Dicho de otro modo, considerar situaciones en las que parezca cumplirse y otras en que no.

A.34. Considerar las relaciones trabajo/energía estudiadas hasta aquí y señalad razonadamente cual o cuales llevan implícito un principio de conservación y transformación de la energía total de un sistema.

Comentarios al apartado 4.1.

Aunque, como se habrá constatado, somos profundamente partidarios de introducir numerosas actividades de emisión de hipótesis (núcleo central del trabajo científico como señala Hempel) hay ocasiones en que la información reiterada recibida sobre un tema quita todo interés a solicitar hipótesis en torno al mismo. No tendría sentido, por ejemplo, llevar a los alumnos de este nivel a que emitan hipótesis acerca de la conservación de la energía. Por contra, sí creemos conveniente solicitar, como se hace en A.33., razones que apoyen dicho principio, enunciado habitualmente como algo obvio, de tan repetido. Con ello se intenta evitar un manejo mecánico, no significativo.

La consideración de situaciones en las que interviene la fricción introduce una aparente limitación a la idea de conservación. Cabe quizás posponer la clarificación completa de la cuestión al estudio del tema del calor. Mientras tanto puede bastar con consideraciones cualitativas acerca de la necesidad de incluir en ΔE_T la variación de energía cinética de las partículas debido a la fricción.

La actividad A.34. permite hacer ver como en $W_{ext} = \Delta E_{Total}$ está implícito el principio de conservación (y transformación) de la energía de un sistema: y lo mismo ocurre en $W_{res} = \Delta E_c$; basta poner el trabajo resultante en función del interior más el exterior con lo que se tiene: $W_{ext} + W_{int} = \Delta E_c$; y de aquí: $W_{ext} = \Delta E_c + \Delta E_p$.

4.2. Establecimiento experimental del principio de conservación de la energía

A.35. Diseñar algún montaje experimental para contrastar el principio de conservación de la energía (en su forma $W_{ext} = \Delta E_T$ en alguna situación particular de fácil realización

A.36. (opcional) Breve presentación histórica del establecimiento del principio de conservación de la energía

Comentarios al apartado 4.2.

Nos encontramos con un trabajo experimental muy complejo y sujeto a grandes imprecisiones. Los alumnos pueden concebir montajes experimentales relativamente sencillos (como un carrito deslizando con rozamiento despreciable por un plano horizontal, tirado por un cuerpo que pende verticalmente a través de una polea) pero su realización supera sin duda sus posibilidades. Esta puede ser una ocasión para insistir en que no siempre un equipo de investigadores realiza todas las tareas de una investigación (más bien ello es la excepción hoy en día).

La actividad A.36. debe dar cuenta de las dificultades históricas del establecimiento experimental del principio (trabajos de Joule, Mayer,..) De nuevo hemos de señalar la conveniencia de posponer esta actividad al establecimiento, en el capítulo siguiente, de la equivalencia calor/trabajo. En el Holton puede encontrarse un estudio histórico muy claro y sugerente. La inclusión de esta actividad aquí sólo tiene sentido si el tema de calor no se incluye en el desarrollo del curso.

5. RESOLUCION DE PROBLEMAS

Con los problemas que siguen se pretende, al tiempo que los alumnos se familiarizan con aspectos clave del trabajo científico, mostrar la potencia del nuevo tratamiento energético y su coherencia con el cinemático/dinámico.

- A.37. Un objeto es lanzado por una superficie horizontal. ¿Qué distancia recorrerá hasta pararse?
- A.38. Se deja caer un objeto ¿Con que velocidad llegará al suelo?
- A.39. ¿Qué potencia ha de desarrollar el motor de un ascensor?
- A.40. Se lanza un objeto hacia arriba. ¿Qué altura alcanzará?
- A.41. Se dispara una bala contra un muro ¿Qué distancia penetrará?
- A.42. ¿Con que velocidad hay que lanzar una bola para que suba a la cúspide de un montículo?

Comentarios al apartado 5

Nos remitimos aquí al capítulo sobre resolución de problemas como investigación en donde se recoge la resolución de problemas como los planteados en este apartado que constituyen ocasiones reiteradas de aplicar las relaciones trabajo energía o resolverse cinemático/dinámicamente. Se pueden utilizar también enunciados ordinarios (con datos, etc), pero recomendamos muy insistentemente la transformación de la resolución de los ejercicios habituales en verdaderos problemas en la forma que se describe en el capítulo mencionado.

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.1. Haced una estimación aproximada del consumo eléctrico de un mes en vuestra casa (teniendo en cuenta todos los electrodomésticos, bombillas,..) y comparar con los KWh que indican los recibos de la compañía eléctrica.
- A.1. (variante) Realizad una estimación aproximada del consumo de KWh en este Centro de enseñanza, teniendo en cuenta horas de iluminación, etc. Comparar con los datos proporcionados por la Secretaría del Centro.
- A.2. Elaborar una síntesis ordenada del tema
- A.3. Elaborar una relación de fuentes de energía, indicando su naturaleza, problemas de su utilización, etc
- A.3. (variante) Realizad un estudio de los tipos de energía consumida en vuestro país : su origen. cantidad consumida, problemas relacionados, etc.
- A.4. Seguid en la prensa, durante el tiempo que indique el profesor, todas las noticias relacionadas con la energía. Elaborar un dossier con las mismas.

Proponemos por último las siguientes actividades que globalizan bastantes de los aspectos introducidos en el tema:

- A.5. Una fuerza de 50N tira hacia arriba de un cuerpo de 2 Kg de masa haciéndole ascender 40 cm. Calcular ΔE_c , ΔE_p y ΔE_t aplicando las relaciones trabajo/energía. Si en dicho instante cesa la fuerza, describir el movimiento que seguirá el objeto y calcular la velocidad que llevará al llegar al suelo.
- A.6. Un cuerpo de 4 Kg cae libremente desde una altura de 2000 m. Si suponemos constante la intensidad del campo gravitatorio $g = 10 \text{ N/Kg}$ y despreciable el rozamiento del aire:
- Calcular el tiempo total de caída.
 - Calcular cada dos segundos contados a partir del instante inicial, el valor de la energía potencial y el de la energía cinética (a partir de los valores de h y de v obtenidos cinemáticamente). Verificar si la suma de ambas se mantiene constante. Construir una tabla que racionalice los cálculos.
 - Representar los valores obtenidos de energía potencial, cinética y total en un mismo diagrama frente al tiempo.

Comentarios a las actividades complementarias

Las actividades aquí incluidas lo son a título de ejemplo. Se trata de proponer actividades que superen un tratamiento puramente escolar, abordar las relaciones ciencia/sociedad, etc. Por supuesto no se trata de actividades a hacer necesariamente al final del tema, sino que pueden ir incluyéndose a lo largo del mismo o en recapitulaciones posteriores.

CALOR

INTRODUCCION

Vamos a iniciar aquí el estudio de una serie de fenómenos, los caloríficos, que mayor interés han despertado en el hombre desde las épocas más remotas:

A.1. Enumerar los fenómenos caloríficos que conozcáis, así como aplicaciones de interés de los mismos.

Al igual que sucedió con el movimiento, la electricidad, etc, el interés por estos fenómenos no bastó para generar un verdadero desarrollo científico, hasta fines del siglo XVII, gracias a la invención del termómetro, que iba a hacer posible el paso de las observaciones cualitativas al tratamiento cuantitativo y riguroso. Se inicia así un largo proceso que seguiremos, en cierto modo, en este programa-guía, de acuerdo con el siguiente

Índice:

1. Nacimiento de la ciencia del calor: invención del termómetro e introducción del concepto de temperatura
2. Estudio de algunos aspectos básicos de la fenomenología del calor
 - 2.1. Calor ganado o perdido por un cuerpo
 - 2.2. Intercambio de calor entre dos cuerpos
 - 2.3. Dilatación de las sustancias
 - 2.4. Cambios de estado
 - 2.5. Calentamiento de los objetos por fricción
3. La teoría del calórico
4. Concepción actual de la naturaleza del calor
5. Actividades complementarias

Comentarios al índice

El hilo conductor de este tema reproduce, sin rigidez, el desarrollo histórico, lo que permite ofrecer un ejemplo bastante claro de construcción de un modelo teórico (teoría del calórico) y de su hundimiento hasta llegar a la concepción actual del calor. El texto de Holton y Roller (1972) contiene una introducción muy adecuada a los aspectos históricos de este tema.

1. NACIMIENTO DE LA CIENCIA DEL CALOR: INVENCION DEL TERMOMETRO E INTRODUCCION DEL CONCEPTO DE TEMPERATURA

Las primeras observaciones que nos llevan a afirmar que los cuerpos están más o menos calientes provienen, sin duda, del sentido del tacto. Pero estas observaciones son puramente cualitativas y, lo que es peor, con frecuencia erróneas.

A.2. Concebir algún sencillo experimento que muestre cómo las sensaciones táctiles que los objetos producen pueden ser contradictorias, erróneas.

Comentarios A.2

Los alumnos suelen referirse a la muy conocida experiencia de sumergir simultáneamente las manos en sendos recipientes con agua fría y caliente y después ambas en agua tibia.

A.3. Sugerir cuales de los fenómenos señalados en A.1. son susceptibles, en principio, de ser utilizados para construir un instrumento de medida. Proponer algún diseño adecuado.

Comentarios A.3.

Aunque los alumnos consideran casi exclusivamente los cambios de volumen (concretamente de líquidos) como base para la construcción de un termómetro, el profesor puede referirse a los termómetros de gases, a los pirómetros ópticos, etc.

A.4. Proceder a la observación y manejo de termómetros.

Comentarios A.4.

Nos remitimos aquí a lo señalado en el primer tema (apartado 4.5.) sobre manejo de instrumentos.

La introducción del termómetro supuso el inicio de la ciencia del calor, a partir de la distinción entre calor y temperatura.

A.5. Sugerir algún experimento sencillo que muestre que la temperatura -dada por la lectura de los termómetros- no es expresión del calor absorbido por el cuerpo.

Comentarios A.5.

Los alumnos sugieren la posibilidad de poner recipientes con distintas cantidades de agua en «el mismo fuego», durante el mismo tiempo, y constatar que los termómetros señalan diferente en cada uno.

2. ESTUDIO DE ALGUNOS ASPECTOS BASICOS DE LA FENOMENOLOGIA DEL CALOR

Teniendo en cuenta los fenómenos enumerados en la actividad A.1. procederemos ahora al estudio de algunos de los mismos.

2.1. Calor ganado o perdido por un cuerpo

Uno de los procesos más simples de aquellos en que interviene el calor es el de los calentamientos y enfriamientos que tienen lugar al poner en contacto cuerpos a distintas temperaturas:

A.6. Emitir hipótesis acerca de los factores de que depende la cantidad de calor que absorbe o emite un cuerpo (al variar su temperatura). Precisar la forma en que cabe pensar influyan.

Comentarios A.6.

Los grupos de alumnos mencionan la variación de temperatura Δt , de la cantidad de sustancia m y de la naturaleza de la sustancia. Se llega así, siempre a título de hipótesis, a la expresión $Q = Km\Delta t$ (donde el valor de K sería específico de cada sustancia).ⁱ

A.7. Diseñar un montaje experimental adecuado para contrastar las hipótesis, indicando la forma de resolver los problemas técnicos (forma de medir valores relativos de la cantidad de calor, etc)

A.8. Realizar los experimentos y analizar los resultados.

Comentarios A.7 y A.8

La discusión de los grupos conduce a proponer distintas series de medidas, es decir, a una separación de variables. Así en una primera serie proponen utilizar siempre la misma cantidad de una sustancia (agua, p.e.), provocando distintas variaciones de temperatura. El calor utilizado se podría medir indirectamente por el tiempo que permanece el recipiente expuesto al foco calorífico.

Para el análisis de los resultados se propone la construcción de los gráficos $Q=f(t)$ y $Q=f(m)$. Por supuesto es preciso conducir a una reflexión (caso de que no se produzca espontáneamente) sobre la necesidad de evitar que el propio recipiente altere sensiblemente los resultados, lo que se traduciría en que las rectas obtenidas no pasarían por el origen de coordenadas.

Estos tipos de diseños que implican separación de variables plantean dificultades a bastantes alumnos, incluso de nivel universitario, como han mostrado numerosas investigaciones (Dibar y Queiroz 1984). En nuestra opinión ello es el resultado de la escasa o nula práctica que la enseñanza habitual procura de familiarización con la metodología científica (Gil y Payá 1984) (Yager y Penik 1983). Investigaciones elementales como la que aquí se contempla, permiten precisamente dicha familiarización.

A.9. Interpretar físicamente la constante de la expresión obtenida.

Comentarios A.9

Los alumnos parten ya del supuesto de que K (en $Q=K\Delta t$) depende de la naturaleza de la sustancia, es decir, tiene un valor distinto, específico, para cada sustancia. Pero se trata de que lleguen a ver (lo que no siempre es fácil de entrada) que K representa un calor específico, es decir, puesto que $K=Q/m\Delta t$, K tiene el valor del calor necesario para variar una unidad la temperatura de una masa unidad de la sustancia.

Pese a esta dificultad (que en ocasiones los alumnos no llegan a superar) consideramos necesario introducir actividades de este tipo, pues la información que el profesor puede proporcionar después es mucho más efectiva, al responder a un problema que los alumnos ya se han planteado.

En esta actividad surge, además, la cuestión de las unidades del calor, lo que remite a la siguiente actividad:

A.10. Basándose en los resultados de trabajos similares a la pequeña investigación realizada aquí, se introdujo una primera unidad para la medida del calor. Inventar una unidad fácilmente reproducible.

Comentarios A.10.

La petición de simplicidad conduce a los alumnos a proponer como unidad de calor, el necesario para provocar una variación dada de temperatura en una masa dada de una sustancia de fácil acceso, concretamente agua. La introducción de la caloría como unidad utilizada históricamente les resulta así perfectamente comprensible (A.10.bis)

A.10.(bis) Breve presentación por el profesor de la caloría como unidad de calor

Veamos ahora algunos ejercicios de aplicación de lo establecido hasta aquí:

A.11. ¿Qué cantidad de calor absorberán 2 Kg de agua para pasar de 22°C a 50°C?

A.12. ¿Qué significa físicamente que el calor específico del cobre es 0.09 cal/g°C? Comparar dicho valor con el del agua.

A.13. ¿Cuál es el intercambio calorífico entre 100 g de cobre y el medio que le rodea cuando dicha masa se enfría de 100 a 20°C?

Comentarios A.11, A.12 y A.13

Se trata de pequeños ejercicios de aplicación. La A.11 conduce a que los alumnos comprendan que la introducción de la caloría equivale a dar el valor unidad al calor específico del agua y permite además ver la conveniencia de introducir la Kcal.

La actividad A.12 insiste en el significado físico del calor específico y ayuda a comprender por qué el cobre se calienta mucho más rápidamente que el agua.

La actividad A.13 está planteada para hacer caer en la cuenta de que Q ha de resultar ahora negativo (el cobre pierde calor).

2.2. Intercambio de calor entre dos cuerpos

A.14. ¿Qué puede decirse, a título de hipótesis, acerca de las variaciones de temperatura y cantidades de calor implicadas cuando dos cuerpos entran en contacto?

Comentarios A.14.

La discusión de los alumnos conduce a dos ideas o hipótesis:

- La temperatura de ambos cuerpos variará (la de uno aumenta y la del otro disminuye) hasta igualarse.

- La cantidad de calor que gana el cuerpo frío, Q_1 , será igual a la que pierde el cuerpo caliente, Q_2 , o, dicho de otro modo, la suma de ambos calores ha de ser nula, $Q_1 + Q_2 = 0$, (si no hay pérdida de calor, es decir, si el sistema de ambos cuerpos está aislado).

La primera de ambas ideas responde a una experiencia casi cotidiana y es, en todo caso, de muy fácil contrastación. La segunda, sin embargo, exige la derivación de consecuencias contrastables. Esto es lo que plantea la actividad A.15:

A.15. Dar en forma operativa la hipótesis enunciada, es decir, realizar alguna predicción que sirva de base para una contrastación experimental.

A.16. Diseñar un experimento sencillo que permita contrastar la relación propuesta en A.16.

A.17. Realizar el experimento diseñado e interpretar los resultados obtenidos.

Comentarios A.15, A.16 y A.17.

La actividad A.15 conduce habitualmente a los alumnos a proponer la utilización de $Q_1 + Q_2 = 0$ para predecir cual sería la temperatura de una mezcla partiendo de cantidades conocidas de una misma sustancia a distintas temperaturas iniciales (en condiciones de relativo aislamiento)

El diseño exige resolver algunos problemas técnicos como son:

- tipo de sustancia a utilizar: por varias y obvias razones se propone el uso del agua.

- forma de lograr un buen aislamiento: aquí, amen del uso de calorímetros, si se dispone de ellos (o fabricándolos a base, p.e., de vasos de precipitados de distintos tamaños, tapones, etc), ha de quedar claro la conveniencia de no utilizar temperaturas elevadas (que favorecen las pérdidas de calor) y la de verter el cuerpo frío (a temperatura ambiente) sobre el caliente, para evitar también al máximo toda pérdida de calor.

- forma de constatar que se ha alcanzado la temperatura de equilibrio: se propone el uso de dos termómetros, uno en contacto con el agua a temperatura ambiente y el otro con el agua caliente (colocada en el calorímetro). De este modo, al producirse la mezcla, la temperatura de uno de los termómetros asciende y la del otro desciende hasta alcanzar rápidamente (conviene agitar) el mismo valor.

Los resultados obtenidos así son relativamente buenos, con desviaciones respecto a la temperatura predicha inferiores al 2%.

A.18. Indicar como puede utilizarse la relación establecida, para la determinación experimental de calores específicos.

A.19. En el interior de un calorímetro tenemos 200 g de agua a 20°C. Al introducir un cuerpo de 50 g calentado a 38°C, la temperatura de la mezcla pasa a ser de 22°C ¿Cual es el calor específico de dicho cuerpo?

2.3. Dilatación de las sustancias

Proponemos aquí una simple introducción cualitativa a la dilatación de las sustancias en los estados sólido y líquido. El estudio del comportamiento físico de los gases -que ha jugado, como veremos, un papel fundamental en el establecimiento de la estructura de la materia- se realizará en otro capítulo.

A.20. Proponer sencillos montajes experimentales que muestren las variaciones de volumen que sufren las sustancias en los estados sólido y líquido

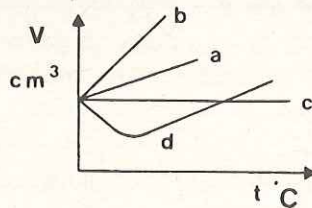
Comentarios A.20

Se trata de favorecer, al menos, una introducción cualitativa. Las propuestas de los alumnos para mostrar las variaciones de volumen de sólidos y líquidos conducen a sencillos experimentos como los que recoge el Manual de la UNESCO para la Enseñanza de las Ciencias o cualquier texto elemental; esfera

que pasa justo por un aro antes de calentarla y no pasa después, etc, etc. Las actividades que siguen, hasta A.31, aunque sencillas reclamen bastante tiempo sin añadir conceptualmente nada necesario para el ulterior desarrollo del tema. Se consideran, por tanto, opcionales.

NOTA: Las actividades que siguen en este apartado tienen un carácter opcional para una posible profundización.

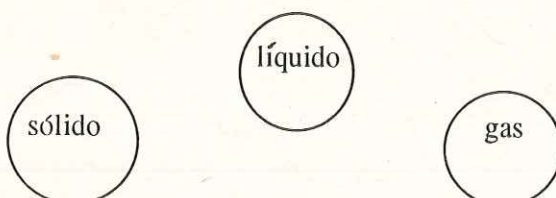
- A.21. Emitir hipótesis acerca de los factores de que depende la variación de volumen ΔV que experimenta un cierto volumen V de sustancia al modificar su temperatura.
- A.22. Diseñar sendos montajes experimentales para la contrastación de las hipótesis emitidas a) para el caso de un sólido; b) de un líquido.
- A.23. Realización de los experimentos y análisis de los resultados (o, caso de no realizarse los experimentos, análisis de los resultados obtenidos por otros investigadores y proporcionados por el profesor).
- A.24. Una barra de 2 m de plata sufre un aumento de 0.72 mm al calentarla 20°C . Determinar el coeficiente de dilatación lineal de la plata.
- A.25. ¿Qué significa que el coeficiente de dilatación lineal del hierro es $12 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$?
- A.26. Calcular la longitud de una barra de hierro a 100°C , si medía 10 m a 0°C . Calcular así mismo el volumen de un cilindro de hierro a 100°C si a 20°C era de 200 cm^3 .
- A.27. La densidad del mercurio es 13.541 g/cm^3 a 20 grados. ¿Cuál será su densidad a 100 grados si su coeficiente de dilatación es $0.182 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$?
- A.28. Tratar de explicar cómo el hecho de que el agua caliente sea menos densa que el agua fría puede aprovecharse para la construcción de un sistema de calefacción central.
- A.29. ¿Qué puede decirse de los coeficientes de dilatación de las cuatro sustancias a, b, c y d de la figura?



- A.30. Razonar si puede considerarse correcto el siguiente dato: la densidad del agua es 1000 Kg/m^3
- A.31. Calcular la longitud de una barra de hierro a 250, 500, 750 y 1000 grados centígrados, sabiendo que a cero grados es de 10 m. Representar el conjunto de valores en un diagrama longitud/temperatura para obtener una representación gráfica $l=f(t)$

2.4. Cambios de estado

- A.32. Enumerar los estados en que se presenta la materia y exponer las ideas cualitativas que se posean acerca de los cambios de estado.
- A.33. Indicar mediante flechas en el esquema adjunto los cambios de estado que se conozcan.



- A.34. Exponer con claridad las ideas de fusión, vaporización, evaporación, ebullición, sublimación, solidificación y licuefacción.
- A.35. Dibujar cualitativamente, a modo de hipótesis, la gráfica temperatura en función del tiempo para el calentamiento de un sólido hasta vapor.

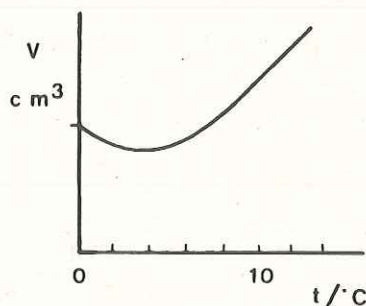
Comentarios actividades A.32 a A.35

Se trata aquí, como en el apartado 2.3., de favorecer una introducción cualitativa. La actividad A.32 suele conducir a la típica respuesta de «los tres estados de la materia: sólido, líquido y gas». Es muy importante salir al paso de este error y aclarar que la materia se presenta también (!y mucho más abundantemente que al estado sólido!) en forma de plasma (como en las estrellas) o en formas más sutiles de las que se tratará en capítulos posteriores (fotones, etc). No obstante es cierto que históricamente sólo se daba carácter material a los tres estados sólido, líquido y gas (e incluso este último tardó en verse reconocido el carácter material)

La A.33. facilita una visión global de los cambios de estado y la A.34. permite salir al paso de confusiones terminológicas. Por último, la A.35. conduce a explicitar la hipótesis de la constancia de la temperatura mientras dura un cambio de estado.

Las actividades A.36 a A.39 sólo tienen un carácter opcional con vistas a una posible profundización en los cambios de estado.

- A.36.(optativa). Emitir hipótesis operativas sobre los factores de que depende la cantidad de calor necesaria para provocar el cambio de estado: a) para el paso de sólido a líquido; b) para el paso de líquido a gas por ebullición; c) para el paso de líquido a gas por evaporación.
- A.37.(optativa). Diseñar montajes experimentales para la contrastación de las hipótesis emitidas en el caso de la fusión
- A.38.(optativa). Realización de los experimentos y análisis de los resultados.
- A.39.(optativa). Calcular el calor necesario para pasar 1 Kg de hielo a -20 grados hasta vapor a 150. Explicitar los datos que se precisan y buscarlos en un libro de datos o pedir al profesor.
- A.40. La variación del volumen de una masa dada de agua en las proximidades de los cero grados centígrados viene dada por la gráfica adjunta
- Señalar qué anomalía se observa
 - Explicación por el profesor del por qué de dicho comportamiento anómalo
 - Discutir la importancia de dicha anomalía para la vida del hombre sobre la Tierra.



Comentarios A.40

Esta actividad tiene interés pues permite una reflexión sobre la importancia de la anomalía del comportamiento del agua (que el profesor puede explicar cualitativamente como resultado de la estructura abierta del hielo, etc) y sus implicaciones: continuidad de la vida en los ríos cuando la superficie se congela, posibilidad de vida humana en las zonas costeras, que son las más favorables, etc.

2.5. Calentamiento de los objetos por fricción

- A.41. Poner ejemplos del calentamiento que experimentan los cuerpos por rozamiento o colisión, indicando la importancia que presenta dicho calentamiento

Comentarios A.41

Es importante introducir una actividad que plantee la relación entre fricción y calentamiento. En primer lugar porque responde a una experiencia cotidiana y en segundo porque, como veremos más adelante, es un aspecto que contribuyó de forma decisiva a la comprensión de la naturaleza del calor. Extrañamente, sin embargo, muchos textos no se refieren a este aspecto capital al considerar la fenomenología del calor.

3. LA TEORIA DEL CALORICO

A.42. Los hechos establecidos hasta aquí apoyan la idea del calor como una sustancia. Intentar describir las características de dicha sustancia (que fue conocida históricamente con el nombre de calórico), teniendo en cuenta la fenomenología estudiada.

A.43. Breve exposición por el profesor de la primera teoría que proporcionó una explicación cualitativa de los fenómenos caloríficos (teoría del calórico).

Comentarios A.42 y A.43

Hemos de salir al paso, en primer lugar, de posibles críticas sobre la inoportunidad de introducir «viejas ideas, desde hace mucho tiempo desechadas. Investigaciones realizadas sobre los preconceptos de los alumnos han mostrado la persistencia de la idea de calor como sustancia (Carrascosa 1985)

De acuerdo, pues, con las propuestas de enseñanza como cambio conceptual, consideramos necesario conectar con dichas ideas (sin despreciarlas ni ignorarlas) y mostrar su virtualidad, su interés para dar cuenta de los hechos. No se trata de ideas gratuitas, sino, al contrario, de concepciones razonables y fructíferas. La exposición por el profesor de la teoría del calórico puede completar las ideas de los alumnos introduciendo, fundamentalmente, la hipótesis de que las partículas de calórico se repelen entre sí y son atraídas por las de materia ordinaria con mayor o menor intensidad según su naturaleza (lo que permitirá dar cuenta de la dilatación y del fácil paso de calor de los cuerpos calientes a los fríos) y la idea de combinación química entre el calórico y las sustancias al alcanzarse determinada temperatura (que permite explicar los cambios de estado y su reversibilidad). (Beltran et Al, 1974) (Holton y Roller 1976)

A.44. Explicar mediante la teoría del calórico los principales aspectos de la fenomenología del calor, concretamente:

- a) por qué al poner dos cuerpos en contacto se alcanza el equilibrio térmico
- b) por qué se dilatan los cuerpos al calentarlos
- c) por qué se producen los cambios de estado
- d) por qué aparece calor al frotar o golpear los cuerpos

Comentarios A.44

Con esta actividad se pide a los alumnos que revisen la fenomenología del calor a la luz de la teoría del calórico. De nuevo llamamos la atención sobre la necesidad de incluir en esta fenomenología la aparición de calor al frotar o golpear los cuerpos (que es explicada por los alumnos como un «escape» de las partículas de calórico provocado por la compresión que suponen los golpes o fricciones y el aumento de la repulsión consiguiente entre las partículas de calórico).

La consideración del calor como sustancia planteó el problema de determinar las variaciones de masa que se producen al calentarse o enfriarse un cuerpo:

A.45. Proponer un experimento para estudiar la variación de la masa de un cuerpo al absorber «calórico» (Nota: como no resulta cómodo trabajar a elevadas temperaturas, considerar la forma de que un cuerpo absorba grandes cantidades de calor sin elevar la temperatura)

A.45.(bis) Exposición por el profesor de los resultados obtenidos en la medida de las variaciones de masa asociadas a los intercambios de calor

Comentarios A.45 y A.45(bis)

La actividad A.45. conduce a los alumnos a sugerir pesar una masa de hielo y volver a pesar el agua

resultante de la fusión (proceso en el que se necesita gran cantidad de calor, sin que varíe la temperatura).

El profesor puede referirse a los numerosos intentos de medir la masa del calórico basados en procedimientos similares. El resultado negativo de las medidas realizadas fue el primer problema con que tropezó la teoría del calórico. La dificultad no era, sin embargo, excesiva, pues cabía pensar en una sustancia extremadamente ligera.

El verdadero golpe a la teoría del calórico está asociado al problema de la liberación de calor por fricción, como se plantea en las actividades siguientes.

A.46. Otro problema que preocupó con relación a la teoría del calórico fue el de la liberación de calor por fricción: Si el calor es una sustancia contenida en los cuerpos ¿qué cabe esperar ocurra al frotar o golpear un cuerpo durante bastante tiempo?

A.47. Sugerir algún diseño para contrastar la predicción hecha en A.46 y realizar algunas observaciones cualitativas a modo de ensayo de contrastación.

A.47.(bis) Descripción por el profesor de los resultados obtenidos en los numerosos experimentos realizados

Comentarios A.46, A.47 y A.47(bis)

La idea de que el calor contenido en un cuerpo debería llegar a agotarse cuando se le extrae por fricción surge sin dificultad en A.46.

La actividad A.47 conduce a propuestas simples de fricción de objetos que al cabo de un tiempo «deberían enfriarse». El profesor puede entonces (A.47.bis) referirse con algún detalle a los trabajos de Benjamin Thomson (Holton 1972) quien, al dirigir las operaciones de taladro de cañones constató que la fricción producía siempre grandes cantidades de calor con lo que este parecía inagotable, contradiciendo así la hipótesis fundamental de la conservación del calórico. Puede ser interesante utilizar este ejemplo para insistir una vez más en la crítica a visiones inductivistas que consideran la observación como punto de partida de una investigación. En efecto, la observación del enorme desprendimiento de calor producido en las operaciones de taladro de cañones era absolutamente común, sin que ello hubiera generado ningún tipo de cuestionamiento: la simple observación puede resultar irrelevante a menos que responda a una problemática y unas concepciones que orienten dicha observación, como ocurrió con los trabajos de Thomson.

5. CONCEPCION ACTUAL DE LA NATURALEZA DEL CALOR

A.48. Partiendo de los trabajos de obtención de calor por frotamiento, que pusieron en cuestión la teoría del calórico, emitir una nueva hipótesis acerca de la naturaleza del calor.

A.49. Exposición por el profesor del debate histórico sobre la naturaleza del calor

A.50. Diseñar algún montaje experimental para tratar de establecer la equivalencia entre calor y trabajo

A.50.(bis) Descripción por el profesor de los trabajos de Joule y resultados obtenidos

A.51. Al caer dos pesas de 30 Kg cada una desde una altura de 2 m, producen, por fricción (a través de un sistema de palas que hacen girar las pesas al ir bajando) una elevación de 0.56°C en la temperatura de 500 g de agua. Calcular: a) el trabajo realizado a expensas de la energía potencial de las pesas; b) el calor producido; c) el equivalente mecánico del calor, es decir, a cuantas calorías equivale un julio.

A.52. Explicar cualitativamente, a la luz de las nuevas ideas sobre el calor, los siguientes fenómenos: a) el calentamiento por fricción; b) la tendencia al equilibrio térmico de los cuerpos en contacto; c) la dilatación producida por un incremento de temperatura; d) los cambios de estado.

A.53. Recapitulación y clarificación por el profesor del concepto de calor, saliendo al paso del error habitual de concebirlo como una forma de energía almacenada en los cuerpos.

Comentarios al apartado 5

La actividad A.48 permite que surja la idea de asociar el calor con la agitación o movimiento de las partículas. El profesor puede citar las palabras de Thomson («me parece extremadamente difícil, si no imposible, imaginar algo capaz de ser producido a la manera que lo es el calor en estos experimentos si no es movimiento») y referirse a las dificultades que encontró para hacer aceptar su idea (entre otras razones porque no pudo dar resultados cuantitativos). La verificación de que el calor estaba relacionado con la energía y el trabajo estuvo ligada a investigaciones de muchos científicos entre los que sobresalen Mayer y Joule.

En la actividad A.50 los alumnos proponen dejar caer cuerpos, calcular el trabajo realizado y medir las variaciones de temperatura producidos. El profesor puede entonces describir los trabajos de Joule y los resultados obtenidos. La actividad A.51 permite analizar los resultados de un experimento similar a uno de los realizados por Joule.

Todos estos trabajos (a los que Joule dedicó su vida como científico aficionado!) condujeron a establecer la equivalencia entre el calor y el trabajo. Conviene que el profesor se detenga aquí y (siguiendo por ejemplo la explicación muy clara dada en el Alonso-Finn) deje muy claro que no hay que concebir el calor como una forma de energía almacenada en los cuerpos (error este muy extendido), sino pura y simplemente una forma de intercambio de energía, es decir, una forma de trabajo. Un trabajo asociado al desplazamiento de las partículas de un cuerpo y que no puede medirse, por razones obvias de la forma habitual (lo que obligaría a seguir el desplazamiento de cada partícula y medir la fuerza que actúa en cada instante sobre cada una). La magnitud calor aparece así como una globalización estadística del trabajo realizado sobre cada partícula. Un trabajo que se traduce en variaciones de energía de las partículas, aumentando, por ejemplo, su velocidad (que se mide, también estadísticamente, con el concepto de temperatura). Y no puede hablarse de contenido en energía calorífica (a pesar de que se suele hacer) como no puede hablarse de contenido en energía «trabajosa» (cosa que, afortunadamente, nadie hace).

Conviene, además, referirse a que la comprensión del calor como forma de trabajo abrió paso al establecimiento del principio de conservación de la energía en toda una serie de procesos en que parecía no cumplirse.

La actividad A.52, por último, permite mostrar la capacidad de la nueva concepción del calor para explicar la fenomenología asociada.

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.54. La revolución industrial del S XIX está asociada en cierto modo a la construcción y utilización de las llamadas máquinas térmicas. Buscar bibliografía al respecto y construir un mural-síntesis
- A.55. Diseñar un modelo elemental de turbina de vapor y construirla.
- A.56. Con el establecimiento de la equivalencia calor/trabajo, el principio de conservación y transformación de la energía adquiere una validez absolutamente general. Enunciar dicho principio en la forma más general posible
- A.57. Exponer, utilizando como ejemplo la teoría del calórico, algunas características de la evolución de los conocimientos científicos.
- A.58. Profundizar en el estudio del petróleo como «fuente de energía», tratando los problemas asociados a su utilización.
- A.59. Realizar un pequeño estudio sobre el aislamiento térmico: importancia, formas de conseguirlo...
- A.60. Introducción cualitativa por el profesor del denominado Segundo Principio de la Termodinámica, que viene a completar el Principio de Conservación de la Energía, introduciendo una nueva perspectiva en el estudio de los intercambios energéticos.

MOVIMIENTO ONDULATORIO

INTRODUCCION

Hasta aquí hemos estudiado el movimiento de objetos individuales que podíamos considerar, en primera aproximación, como corpusculares o partículas puntuales. Pero, de modo paralelo al desarrollo de la mecánica y de la electricidad, incluso antes, se fue desarrollando el estudio de movimientos de naturaleza más compleja, menos evidente, llamados habitualmente ondulatorios o, simplemente, ondas.

A.1. Hacer una lista de fenómenos habitualmente calificados como ondulatorios, y producir algunos de ellos.

Comentarios A.1

Se trata de conectar con las nociones iniciales que, sin duda, tienen los alumnos, quienes se refieren a ondas producidas en la superficie del agua, en una cuerda, y poco más. En ocasiones aluden a las ondas de radio o al sonido. Se trata, muy probablemente, de una utilización meramente nominal de estos términos, y el profesor debe, inicialmente, limitar el estudio a movimientos ondulatorios más «evidentes», completando los ejemplos de los alumnos (terremotos, vibraciones en una barra metálica, ondas en muelles, etc.). Es necesario que los alumnos produzcan en este momento movimientos ondulatorios utilizando cuerdas gruesas y finas, muelles largos, cubeta de ondas, ... Debe advertirse, que a menudo los alumnos asocian el concepto de onda con una gráfica o perfil sinusoidal, por lo que conviene producir ondas longitudinales en el muelle; posteriormente, según se vaya avanzando en la comprensión de la naturaleza de los movimientos ondulatorios, será el momento de incidir sobre este aspecto. Conviene también que propongan ejemplos de movimientos no ondulatorios, con el fin de resaltar las diferencias entre ambos.

Se pueden conseguir pulsos que viajen lentamente, cuyo movimiento, forma, ..., sea fácil seguir, utilizando cuerdas gruesas (de gimnasio, de amarrar barcos pequeños, ..) y muelles de constante elástica muy pequeña. Debe evitarse, en la medida de lo posible, la unión de varios muelles, pues se producen reflexiones en los puntos de unión que complican el fenómeno.

Como acabamos de ver, en los fenómenos ondulatorios hay «algo» que se mueve, que se traslada de un punto a otro (de ahí el nombre de movimiento ondulatorio), se trata, no obstante, de movimientos muy distintos, en principio, al mero desplazamiento de los cuerpos, como los que hemos tratado en cinemática, en cuyo estudio, por tanto, habrá que abordar problemas probablemente diferentes.

A.2. Plantear problemas que se considere interesante abordar para profundizar en la naturaleza del movimiento ondulatorio.

Comentarios A.2

A partir del hecho, ya señalado, de que hay «algo» que se mueve y que lo hace de un modo, en principio, bastante alejado del modo en que se mueven los objetos, partículas, etc., surgirán una serie de interrogantes que, con toda probabilidad, quedarán englobados en los siguientes enunciados:

- *¿cómo se produce un movimiento ondulatorio?*
- *¿dónde y cómo se propaga el movimiento ondulatorio? :*
 - *mecanismo de propagación*
 - *velocidad de propagación en un medio*

- fenómenos que se producen al llegar a un obstáculo, al chocar dos ondas en el mismo medio,
- ¿qué es lo que se propaga?
- ¿cuáles son las diferencias entre un movimiento ondulatorio y los ordinarios?

El profesor podrá incluir, si fuera necesario, nuevas preguntas. Conviene, sobre todo, reformular y precisar las planteadas por los alumnos. Así la última cuestión puede expresarse de una forma más útil del siguiente modo: ¿qué propiedades son características de las ondas pero no del movimiento de partículas y sirven, por tanto, para identificar si un determinado movimiento o fenómeno tiene características ondulatorias?. Cuestión que, a su vez, remite a la siguiente: ¿cómo se puede caracterizar un movimiento ondulatorio dado y diferenciarlo de otros movimientos ondulatorios?.

Todas estas cuestiones permitirán precisar el hilo conductor del estudio a realizar.

Este tema estará dedicado, pues, a intentar responder a las cuestiones planteadas, y profundizar así en la naturaleza del movimiento ondulatorio. Ello exigirá, como es habitual en el tratamiento científico de los problemas, la elaboración de hipótesis -o, más precisamente, de un modelo plausible-, la introducción de magnitudes adecuadas, etc... Y contrastaremos -aunque en forma puramente cualitativa- la validez de los conocimientos construidos aplicándolos al estudio de nuevos fenómenos.

De acuerdo con ello, el hilo conductor para esta introducción al movimiento ondulatorio será el siguiente:

1. Establecimiento de un modelo para el movimiento ondulatorio.
 - 1.1. Producción y propagación. Magnitudes características.
 - 1.2. Algunas predicciones del modelo de particular interés: propiedades de las ondas
 - 1.2.1. Difracción e interferencias
 - 1.2.2. ¿Qué es lo que se propaga?.
 - 1.2.3. Reflexión, refracción y ondas estacionarias
2. Síntesis de las propiedades de las ondas y comparación con el movimiento de partículas.
3. Estudio de un movimiento de naturaleza no evidente: el sonido.
4. Actividades complementarias.

1. ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO PARA EL MOVIMIENTO ONDULATORIO

Intentaremos, en primer lugar, elaborar -a título de hipótesis- un modelo que pueda responder a los problemas planteados, centrándonos en los movimientos ondulatorios familiares que ya hemos considerado en A.1.

1.1. Producción y propagación. Magnitudes características.

A.3. Un modelo del movimiento ondulatorio, debe explicar, en primer lugar, cómo se produce, y cómo se propaga una onda en un medio. Sugerir, a modo de hipótesis cualitativas, posibles respuestas a estos problemas para el caso de ondas en muelles, cuerdas y en la superficie del agua.

Comentarios A.3

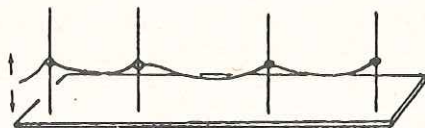
Los alumnos se refieren a que debe existir una «alteración» (»deformación», etc.) inicial en un punto -que en el caso de la cuerda o muelle es producido por la mano, en el caso del agua por una gota o un objeto que golpea la superficie, ...- y que dicha perturbación se propaga por el medio. En esta discusión, el profesor puede ir introduciendo los términos adecuados: foco, pulso de ondas, frente de ondas, ... Conviene centrarse inicialmente en la producción y transmisión de pulsos: en una cuerda muy gruesa, por ejemplo, es mucho más fácil seguir el movimiento de un pulso desde el foco a un extremo que el de un tren de ondas.

En la puesta en común, a través de la consideración de los distintos casos concretos, se llega a la idea de que debido a las uniones entre las partículas, la deformación, o separación de la posición inicial de una de ellas, por tratarse de medios elásticos, arrastra a las próximas, que a su vez....

Puede ser necesario, y conveniente, proponer montajes para la transmisión de ondas que faciliten la visualización y elaboración del modelo: una hilera de péndulos separados regularmente y unidos por muelles o gomas elásticas puede ser muy útil a lo largo de esta actividad.

Puesto que la elaboración del modelo es crucial para la comprensión significativa del movimiento ondulatorio, conviene que el profesor favorezca una mayor profundización, planteando -si fuera necesario en forma de nuevas actividades- preguntas que eviten una adquisición superficial del mismo. Así, una pregunta que ha de contestar el modelo es la dirección y sentido del movimiento de la onda y su relación con el movimiento de las partes del medio. Es decir, se debe plantear a los alumnos la cuestión de cómo se mueven las partículas (trozos) del medio y cómo se mueve la perturbación. En el caso de la cuerda, los alumnos llegan a proponer que los trozos de cuerda se mueven oscilando de modo perpendicular a la dirección en que se propaga el pulso, y que, en cambio, para pulsos longitudinales en el muelle, el movimiento de las espiras es vibratorio en la dirección en que se propaga el pulso (ondas transversales y longitudinales).

El profesor puede plantear si sería posible conseguir que el movimiento de las partes del medio (cuerda, muelle, agua) pudiera observarse más claramente. Pintar un trozo de la cuerda o el muelle, o colocar pequeños flotadores en el caso del agua, suele ser la respuesta de los alumnos, que puede ponerse en práctica rápidamente con muy buenos resultados. Otra posible forma de ver que, en efecto, el movimiento del foco se reproduce en los puntos del medio a los que llega el pulso, consiste en unir trozos de cuerda con anillas finas de plástico, y colocar estas en varillas, donde sólo se pueden mover en una dirección (ver figura 1).



Al final de esta larga actividad (o actividades), se debe haber elaborado un primer modelo para el movimiento ondulatorio: una perturbación producida en un punto de un medio, se traslada a través del medio (y gracias a él), sin desplazamiento neto de partículas. La propagación se realiza porque cada «partícula» del medio se convierte en otro foco, reproduciendo el movimiento de éste, transmitiendo su movimiento a las «partículas» adyacentes debido a que existen fuerzas de enlace. A partir de este modelo hipotético, que representa una primera aproximación al Principio de Huygens, se pueden avanzar predicciones, plantear situaciones problemáticas, que servirán de hilo conductor en el resto del tema, que, como ya se ha dicho, se convierte en una profundización/validación del modelo.

A.4. Introducir magnitudes que puedan ser útiles para caracterizar una onda y que permitan distinguir, por ejemplo, entre dos ondas en una cuerda, o dos ondas en la superficie del agua, etc.

Comentarios A.4

Esta actividad debe permitir, con relativa facilidad después de lo visto hasta aquí, la introducción de los conceptos de amplitud, frecuencia, longitud de onda y período, sus unidades, y, si se cree conveniente, sus relaciones: $\lambda = v \cdot T = v/f$. Puede realizarse también el cálculo de algunas de estas magnitudes a partir de fotografías de ondas en el agua, de datos aportados por el profesor sobre las ondas producidas en la cubeta, etc., evitando caer en meros ejercicios de sustitución numérica de valores. Es conveniente utilizar dichas magnitudes para el caso de ondas longitudinales en un muelle, por ejemplo, saliendo al paso de la identificación onda/perfil sinusoidal.

Conviene detenerse ahora en derivar algunas predicciones del modelo e intentar su contrastación.

1.2. Algunas predicciones del modelo de particular interés: propiedades de las ondas

1.2.1. Difracción e interferencias

A.5. El modelo que hemos elaborado supone que cada partícula de un medio por el que se propaga una onda se convierte en foco secundario, es decir, se pone a vibrar actuando sobre las partículas que le rodean. ¿Cómo podría verse -por ejemplo en la superficie del agua- si un punto de la misma se convierte en foco?

A.6. Realizar los experimentos diseñados

Comentarios A.5 y A.6

La idea de «aislar» algún punto de la superficie mediante un muro con rendija, conduce a montajes de fácil realización (basta disponer dos bloques en una cubeta). Algún alumno puede plantear por qué si la abertura es más grande la onda deja de ser circular y en definitiva por qué no se ve habitualmente que cada punto produzca ondas. Ello remitiría a las siguientes actividades, que plantean precisamente qué ocurre cuando varias ondas coinciden en un punto. En cualquier caso lo esencial aquí es llamar la atención sobre lo que supone este «bordear» el obstáculo que no tiene paralelo en los fenómenos corpusculares, que se conoce como difracción.

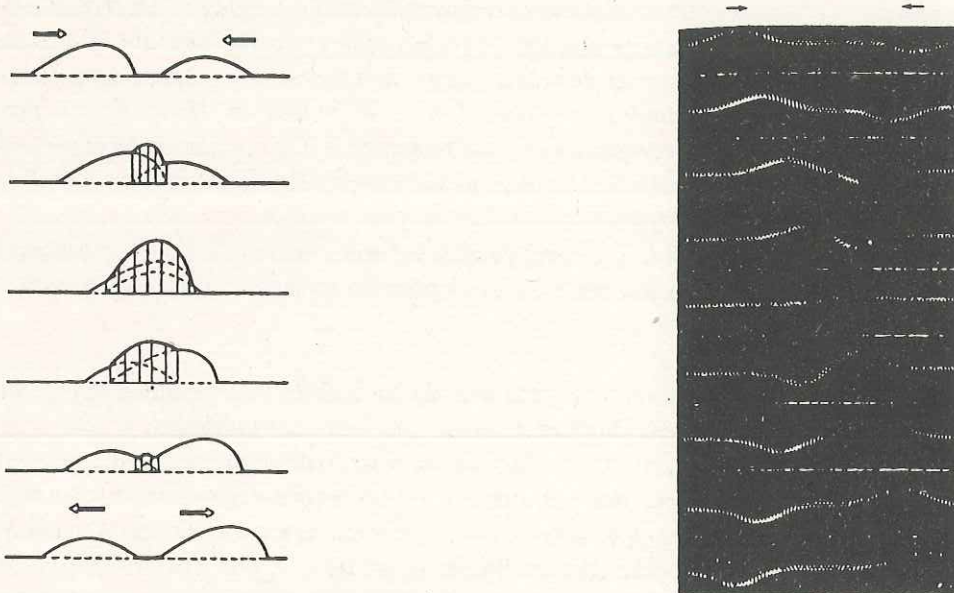
Se trata de una predicción del modelo que, por supuesto, cuenta con una abundante evidencia experimental (más allá de las rendijas en el agua). Y se puede hacer referencia al principio de Huygens (presentado sólo como idea cualitativa coincidente básicamente con el modelo propuesto).

A.7. La idea de que el movimiento ondulatorio avanza, mediante la propagación de la vibración de unas partículas a otras lleva a plantearse qué ocurrirá cuando dos ondas alcancen un mismo punto. Sugerir qué podrá ocurrir al encontrarse en un punto de un muelle dos pulsos que viajan en sentidos opuestos. Idem para el caso de dos ondas superficiales en el agua.

A.8. Diseñar y realizar experiencias para contrastar las hipótesis formuladas en A.7.

Comentarios A.7 y A.8

Los alumnos, a partir del modelo, pueden predecir que la superposición de dos pulsos o trenes de onda en una misma zona, produce que los puntos de esa zona realicen movimientos equivalentes a la suma de los que tendrían si llegara cada una de las ondas por separado, y que, después de cruzarse, las ondas o pulsos continúan su movimiento como si nada hubiera ocurrido (figura 2).



Se trata de una característica fundamental de las ondas, que contrasta claramente con lo que ocurriría al chocar dos partículas (aspecto que se resaltarán, posteriormente, en la A.). Se puede utilizar la cubeta de ondas, o un muelle de constante elástica muy pequeña para verificar estas ideas. También pueden utilizarse fotografías como las que se encuentran en el libro «Física. PSSC» (1969).

Por supuesto debe plantearse el caso en que las dos ondas coincidentes tengan la misma frecuencia y amplitud, analizando cualitativamente qué ocurrirá si llegan al mismo punto simultáneamente las dos crestas, una cresta y un valle, etc.. Se trata, en definitiva de una introducción cualitativa a la interferencia, que debe realizarse con dibujos, fotografías y realizaciones prácticas. Una de las experiencias que los alumnos habrán diseñado, será, probablemente, la superposición de dos ondas circulares en la superficie del agua. Antes de utilizar la cubeta de ondas, debe analizarse qué cabe esperar que ocurra, con objeto de que los propios alumnos avancen que habrá zonas donde se anulará totalmente el movimiento del agua y zonas en las que se reforzará éste, dando lugar a una situación estacionaria.

Por último, vamos a abordar otra consecuencia del modelo, relacionada esta con la propagación de ondas en una superficie o en el espacio, pero -puesto que, según el modelo, en los movimientos ondulatorios no hay desplazamiento neto de materia- antes es necesario preguntarse qué es lo que se propaga.

1.2.2. ¿Qué es lo que se propaga?

A.9. Dado que en una onda no hay transporte neto de partículas, ¿qué es lo que se propaga?

A.10. Analizar, a partir del principio de la conservación de la energía y del modelo elaborado, la transmisión de energía desde el foco hasta un punto alejado del mismo, prediciendo cómo cabe esperar que varíe el perfil de las ondas en la superficie del agua.

Comentarios A.9 y A.10

Como los alumnos han producido ondas en cuerdas de elevada densidad lineal de masa -con las que se ve cómo la persona que se encuentra en uno de sus extremos puede recibir fuertes «sacudidas» enviadas por la persona del otro extremo -, no existen excesivas dificultades para que lleguen a afirmar que se transmite energía, es decir, la energía del foco se va transmitiendo a los puntos del medio. Hemos insistido, sin embargo, en la expresión no hay desplazamiento neto de partículas -lo que no implica que no haya movimiento de partículas- para evitar incidir en la idea -extendida por muchos textos- de que la energía existe y puede propagarse sin necesidad de substrato material. Esta es una cuestión que abordaremos con algo más de detenimiento al asomarnos a la Física Moderna, pero aunque no se discuta aquí, conviene evitar expresiones erróneas como «no hay desplazamiento de materia». El profesor añadirá, si los alumnos no lo hacen, que no sólo se transmite energía, sino, también, cantidad de movimiento.

La A.10 permite sacar a la luz la disminución de la amplitud de la onda con la distancia al foco para las ondas en el agua, y, sobre todo, el carácter deslocalizado (distribuida uniformemente por todo el frente de onda) y continuo de la energía. Conviene detenerse en estas características por el papel que van a jugar, después, en la crisis de la Física Clásica. En definitiva, el modelo propuesto nos ha permitido hasta aquí -y vale la pena insistir en ello- hacer tres predicciones de interés que nos han puesto en contacto con tres fenómenos característicos de las ondas:

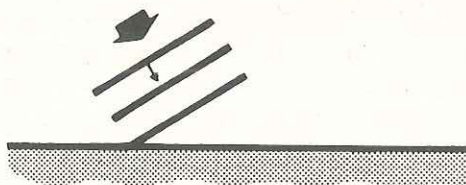
- *la difracción o «desviación» del movimiento tras los obstáculos*
- *las interferencias (con su resultado paradójico de que la suma de dos movimientos ondulatorios de lugar... a ausencia de movimiento)*
- *la distribución uniforme de energía en el frente de onda (con su consecuencia de disminución de la amplitud de la vibración al alejarse del foco, excepto si la onda se propaga en una sola dirección como es una cuerda -en cuyo caso, la variación de la amplitud es sólo debida a amortiguamientos por fricción).*

1.2.3. Reflexión, refracción, ondas estacionarias

Hasta aquí nos hemos centrado en algunas predicciones del modelo, y en su contrastación, que se refieren a propiedades muy especiales de las ondas, sin paralelo en los movimientos corpusculares. Pero otras propiedades de las ondas -que sin duda habremos observado con cuerdas o en la superficie del agua- asemejan a las del movimiento de partículas y deben ser explicadas por el modelo elaborado.

A.11. Mostrar con montajes adecuados que las ondas pueden reflejarse al igual que lo hace una pelota.

A.11. Bis (Optativa) Justificar, haciendo uso del principio de Huygens, la reflexión de un tren de ondas plano que incide en una superficie de separación, como se esquematiza en la figura 4. Dibujar la onda reflejada.



Comentarios A.11 y A.11 Bis

Si se estima conveniente realizar la A.11 Bis, los alumnos, con la ayuda que sea necesaria por parte del profesor, -con regla y compás- deberán construir un frente de ondas reflejado aplicando el Principio de Huygens y seguir las sencillas consideraciones geométricas que conducen a la igualdad de los ángulos de incidencia y reflexión. Esta construcción puede encontrarse en muchos libros de física, como el de Tipler (1977) o el de Beltrán et Al. (1976). Se debe utilizar la cubeta de ondas, o, en su defecto, fotografías para acompañar la discusión de la puesta en común. Aunque normalmente no suele indicarse, está claro que habrá una zona donde coinciden las ondas incidente y reflejada, en la que se producirá, por tanto, interferencia, como se ve, por ejemplo, en las fotografías que se encuentran en algunos libros (ver «Física» del PSSC). Precisamente, esto dará lugar a la producción de ondas estacionarias, que se tratan en la actividad siguiente.

En el caso de los muelles con un extremo fijo, puede verse perfectamente la reflexión de los pulsos en el extremo. Si es posible filmar con cámara de vídeo, puede observarse a cámara lenta la inversión del pulso reflejado.

A menudo las ondas reflejadas -sobre todo en espacios limitados como puede ser una cuerda fija por sus extremos- interfieren con las ondas incidentes. Ello da lugar al curioso fenómeno de las llamadas «ondas estacionarias».

A.12. Pulsar en una cuerda tensa fija por sus extremos y dibujar el perfil de la onda que resulta. Repetir pulsando en distintas posiciones.

Comentarios A.12

El interés de esta actividad es introducir al único fenómeno cuántico de toda la física clásica. Se trata simplemente de hacer ver que en una cuerda fija por sus extremos de longitud L , los valores de la longitud de onda, λ , han de ajustarse a $L = n\lambda/2$, donde n sólo puede tomar los valores discontinuos 1, 2, 3, ... Esta asociación discontinuidad/movimiento ondulatorio cobra en la Física Moderna una gran importancia (dualidad onda/corpusculo: hipótesis de De Broglie), pero aquí basta insistir en el carácter peculiar de este fenómeno, sin paralelo, una vez más, en el movimiento corpuscular.

Terminaremos este recorrido por las propiedades del movimiento ondulatorio y su justificación asomándonos a lo que se conoce como refracción de las ondas:

A.13. (Optativa) Buscar información sobre el fenómeno de refracción de las ondas y haciendo uso del principio de Huygens construir una onda reflejada para el caso en que la velocidad en el segundo medio sea menor que en el primero.

Comentarios A.13. (Optativa)

Aunque, en general, no somos partidarios de recurrir a la información ya elaborada, en algún caso conviene plantear actividades de búsqueda de información. En este caso, además, la abundancia de fenómenos ondulatorios a tratar es tal que puede ser útil no detenerse en todos ellos.

2. SINTESIS DE LAS PROPIEDADES DE LAS ONDAS Y COMPARACIÓN CON EL MOVIMIENTO DE PARTICULAS.

A continuación vamos a proceder a una revisión/profundización del estudio realizado sobre el movimiento ondulatorio, resaltando sus características peculiares y diferenciadoras del movimiento de partículas. Se trata de una síntesis necesaria, ya que el establecimiento de la naturaleza corpuscular u ondulatoria de algunos fenómenos en los que hay movimiento o transmisión de energía (tales como terremotos, sonido, luz, ...) hará necesario la búsqueda de dichas propiedades características de uno u otro tipo de movimiento.

A.14. Realizar, a modo de síntesis de lo visto hasta aquí, un resumen del modelo propuesto para el movimiento ondulatorio acompañado de dibujos donde se indiquen conceptos tales como frente de onda, rayos, amplitud, longitud de onda, etc...

- A.15.** Hacer un esquema que recoja todas las propiedades de las ondas vistas hasta aquí, incluyendo cómo se comportan cuando se cruzan, chocan con obstáculos, .. (producción y propagación, transmisión de energía, interferencias, difracción, reflexión, refracción)
- A.16.** Realizar el mismo esquema para el caso del movimiento de partículas, indicando en qué casos el comportamiento de ondas y partículas es semejante, y en qué casos totalmente diferente. Identificar, a partir de aquí, cuáles de las propiedades estudiadas son exclusivas de las ondas y pueden servir, por tanto, para decidir si un movimiento es de naturaleza ondulatoria, o, por el contrario, corpuscular.

Comentarios A.14, A.15 y A.16

Se trata de actividades de recapitulación del apartado 1, que, por tanto no ofrecen mayores dificultades y preparan para el estudio del sonido que se realiza a continuación.

3. ESTUDIO DE UN MOVIMIENTO DE NATURALEZA NO EVIDENTE: EL SONIDO

La comprensión de la naturaleza del sonido no fue el fruto de uno o varios descubrimientos sobresalientes, sino más bien la obra de gran cantidad de contribuciones desde la antigüedad. Los antiguos griegos, y probablemente antes los egipcios, ya tenían conciencia de que el sonido se origina por la vibración de los cuerpos, que se transmite por medio de cierto tipo de movimiento en el aire y finalmente llega al oído produciendo la sensación de la audición (Tilley y Thumm, 1976). Hombres de épocas muy distintas como Pitágoras, Galileo, Mersenne, Chladni o Von Helmholtz, desarrollaron conceptos sustancialmente válidos sobre el tema, contribuyendo a este desarrollo, pero fue Lord Raileigh, en 1877, quién recopiló y presentó por primera vez en forma completa y coherente las bases de la acústica. Desde entonces, el desarrollo y aplicaciones de la acústica ha sido impresionante, especialmente en el campo tecnológico (micrófono, teléfono, radio, T.V., tocadiscos, sonar, ultrasonidos, ..).

En este apartado, vamos a estudiar, pues, la naturaleza del sonido y sus propiedades más importantes.

- A.17.** ¿Qué problemas relacionados con el sonido debemos abordar en primer lugar para una mejor comprensión del mismo?.

Comentarios A.17

Se trata de una actividad que debe permitir estructurar un estudio cualitativo del sonido como el que aquí se pretende. Ello puede realizarse a partir de las propuestas de los alumnos que van desde aspectos relacionados con la producción y propagación del sonido (cómo se produce, cómo se propaga, con qué velocidad) hasta otros más concretos (eco, audición). Si se ha profundizado suficientemente en los apartados anteriores del tema, los mismos alumnos llegan a plantear la cuestión de si se trata de un movimiento corpuscular, mediante partículas que se trasladan, u ondulatorio. Se trata, de cualquier modo, de una cuestión que surge más claramente en la siguiente actividad.

- A.18.** Expresar las ideas que se tengan sobre cómo se produce el sonido y cómo se propaga hasta llegar a nuestros oídos.

Comentarios A.18

Es una ocasión para que salgan a la luz las ideas previas de los alumnos sobre estos aspectos. Aunque existe variedad y las opciones de los alumnos no están claramente definidas, en la puesta en común se pueden «ordenar» las ideas expuestas del siguiente modo:

- Es necesario una «fuente sonora», que suele ser una vibración producida en una cuerda, varilla u otro objeto.

- «Algo» se mueve hasta nuestros oídos (»el sonido tarda tiempo en llegar») y produce la sensación de sonido. Caben, en principio, dos posibilidades:

1ª. Se trasladan partículas desde la fuente sonora hasta nuestros oídos. Estas partículas podrían ser lanzadas por la fuente sonora, o bien, esta fuente, -al vibrar, por ejemplo- puede golpear las partículas del aire lanzándolas hasta nuestros oídos.

2ª. Se trata de una perturbación en un medio, el aire, producida por el desplazamiento inicial de las partículas del mismo que están en contacto con el cuerpo que vibra, que vuelven a su posición de

equilibrio, pero que hacen que las partículas vecinas se desplacen a su vez, y así sucesivamente, produciéndose un pulso o una onda «sostenida» tal como hemos visto con los muelles o en la superficie del agua.

El profesor, al final de esta puesta en común, debe impulsar a los alumnos a buscar argumentos, experiencias, propiedades que permitan optar por uno u otro modelo del sonido.

A.19. Sugerir qué aspectos del sonido será conveniente estudiar para decidir sobre la validez del modelo corpuscular u ondulatorio para el mismo.

Comentarios A.19

Después de haber realizado las actividades del apartado 2, los alumnos son capaces de seleccionar muchos aspectos útiles, entre los que destacan :

- Si es necesario o no un medio, y en caso afirmativo, si hay o no movimiento neto de las partículas del medio.

- Qué es lo que ocurre cuando el sonido llega a un obstáculo (como una tapia, ..) o a una rendija (como en el caso de las puertas, ..).

- Qué ocurre cuando se cruzan varios sonidos (a nuestro oído llegan simultáneamente multitud de sonidos distintos).

Se trata, como vemos, de aspectos claves que deben ser abordados sistemática y cualitativamente en la actividad siguiente.

A.20. Sugerir, ordenadamente, posibles experiencias o hechos bien conocidos que permitan establecer:

- a) Si es necesario un medio para que se propague el sonido.
- b) Si existe un movimiento neto de las partículas del medio, es decir, un desplazamiento de las partículas del aire desde la fuente sonora a nuestros oídos.
- c) Qué es lo que ocurre cuando el sonido llega a un obstáculo o a una rendija.
- d) Qué ocurre cuando se cruzan varios sonidos.

Una vez establecida claramente la naturaleza ondulatoria del sonido, conviene concretar las propiedades de las ondas que hemos visto en los apartados anteriores al sonido.

A.21. Concretar las propiedades de las ondas, recogidas en las actividades del apartado 2, para el caso del sonido, proponiendo ejemplos o experiencias a realizar donde se manifiesten dichas propiedades.

Comentarios A.21

Aquí deben identificarse las propiedades generales de las ondas con propiedades bien conocidas del sonido (reflexión n eco, reverberación) o aplicaciones de las mismas (reflexión n altavoz o cucurucho de papel, insonorización de locales, ..), proponiendo experiencias sencillas en algunos casos (transmisión de energía por las ondas sonoras n golpeando la membrana de una pandereta, por ejemplo, se puede hacer mover un péndulo en contacto con la membrana de otra pandereta, lejos de la primera; las ondas explosivas pueden causar graves daños, ..). Se trata, pues, de una actividad donde el profesor puede proponer las actividades complementarias que considere oportunas.

4. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS (Opcionales)

A.22. Realizar un trabajo bibliográfico sobre el funcionamiento del oído y la audición (existen excelentes vídeos sobre este tema) y exponerlo al conjunto de la clase.

A.23. Trabajo bibliográfico o exposición por el profesor de los conceptos de sonoridad, tono y timbre.

A.24. Indicar alguna manera de hallar la distancia a la que se encuentra una tormenta.

A.25. Calcular la longitud de onda de la nota LA, cuya frecuencia es 440 Hz.

A.26. El oído humano sólo es capaz de distinguir sonidos separados por intervalos de 0'1 s. Hallar la distancia mínima a que debe estar un obstáculo para que se perciba el eco nítidamente.

- A.27. Realizar un trabajo bibliográfico sobre alguna de las aplicaciones de las ondas: sonar, radar, uso de ondas sísmicas para determinar la estructura de La Tierra, etc.
- A.28. Construir un teléfono de hilo y explicar su fundamento.
- A.29. Construir un «teléfono de tubo» como el que poseen algunos barcos y explicar su fundamento.
- A.30. Realizar un proyecto para acondicionar acústicamente un aula grande. Visitar un teatro, cine o auditorio y analizar sus condiciones acústicas.
- A.31. La lucha contra el ruido se ha convertido en un objeto fundamental en la búsqueda de una mejor calidad de vida. Realizar un pequeño estudio del problema de la «contaminación sonora» e imaginar posibles soluciones (como ejemplo de la relación ciencia/sociedad).
- A.32. ¿Cuánto tiempo transcurrirá desde que se lanza una piedra a un pozo hasta que se escucha el ruido del golpe con el agua?
- A.32. (Alt) ¿Cómo podría averiguarse la profundidad de un pozo?

INTRODUCCION A LA OPTICA

Históricamente la óptica aparece como una ciencia con desarrollo autónomo, con escasa relación con otros campos de la Física, pero terminaría -como tendremos ocasión de ver- integrándose en un único edificio teórico junto a la electricidad y al magnetismo. Este proceso unificador de la ciencia debe ser resaltado, ya que, a menudo, sólo se tienen en cuenta los efectos de la actitud analítica que descompone los problemas en partes abordables, con el consiguiente peligro de pérdida de visión de conjunto. Análisis y síntesis son aspectos complementarios en el trabajo científico, aún cuando, con frecuencia, la síntesis sólo sea posible tras lograr profundizar suficientemente en dominios inicialmente aislados.

Los capítulos que ahora iniciamos, destinados al estudio de la óptica, electricidad y magnetismo, son un buen ejemplo -como veremos al término de los mismos-, de la capacidad de la ciencia para profundizar y establecer relaciones entre dominios aparentemente muy alejados. Entre tanto, nos ocuparemos de los fenómenos ópticos en función de su interés intrínseco, de sus aplicaciones, etc...

A.1. Enumerar problemas relacionados con la luz cuyo estudio parezca interesante abordar.

Comentarios A.1

Se trata de una actividad análoga a la realizada inicialmente en el tema anterior, en la que los alumnos se suelen referir a problemas relacionados con la naturaleza de la luz, su producción, propagación (dirección, velocidad, reflexión, paso de un medio a otro..) y recepción (funcionamiento del ojo, cómo podemos ver los objetos, etc.). En algunas ocasiones, pueden salir también cuestiones relacionadas con los colores, es decir, preguntas sobre la dispersión de la luz. Conviene señalar que la solución de alguno de estos problemas -como el de la naturaleza de la luz- fe el fruto de un largo y complejo proceso y que en este tema nos limitaremos a una primera aproximación.

A.2. Dar una relación de aplicaciones de la óptica que se conozcan e indicar, cuando sea posible, con qué problemas de los enumerados en A.1 se relacionan.

Comentarios A.2

Para los alumnos el término óptica está relacionado con objetos como gafas, prismáticos, cámaras fotográficas, ..., en definitiva con los instrumentos ópticos. El profesor deberá ampliar esta visión de la óptica, presentándola como el estudio de la luz y sus propiedades, siendo los instrumentos citados, aplicaciones surgidas de la comprensión de las mismas, es decir, de cómo se propaga la luz, cómo se refleja y varía su trayectoria al cambiar de medio, cómo se forman las imágenes en el ojo, etc... Es posible sensibilizar a los alumnos de la importancia de la óptica y sus aplicaciones en nuestra vida diaria a partir del hecho de que más del 70 % de toda la información que la persona recibe del exterior la obtiene por medio de la luz a través del sentido de la vista. Por tanto, es fácil comprender que a la largo de la historia se haya prestado una particular atención a la creación y perfeccionamiento de instrumentos para hacer posible que esta información nos llegue en las mejores condiciones, y, asimismo, que dichos instrumentos hayan contribuido a producir cambios importantes en concepciones básicas de las ciencias (pensemos en el microscopio o el telescopio), en la cultura (fotografía, cine, ..), y en la técnica (láser, fibras ópticas, ..).

Se trata de que los alumnos sean conscientes de la importancia del estudio que aquí vamos a iniciar, y que, del mismo modo que sucedió con la acústica, se fe desarrollando desde la antigüedad y continúa extendiéndose hoy día.

De acuerdo con los problemas enumerados en A.1 y teniendo en cuenta el propio desarrollo histórico de la óptica, este tema se desarrollará según el siguiente índice:

Índice

1. Primeras ideas acerca de la naturaleza de la luz.
2. La propagación de la luz.
 - 2.1. Dirección y velocidad de propagación de la luz en un medio.
 - 2.2. Fenómenos relacionados con el paso de un medio a otro: reflexión y refracción de la luz.
3. Naturaleza ondulatoria de la luz.
4. Actividades complementarias.

1. PRIMERAS IDEAS ACERCA DE LA NATURALEZA DE LA LUZ

En el estudio de cualquier fenómeno, las observaciones más elementales se acompañan habitualmente de interpretaciones, más o menos confusas, pero sin las cuales difícilmente se podría avanzar. En ocasiones, además, los mismos hechos son susceptibles de ser interpretados de forma contradictoria. Este es el caso de los fenómenos luminosos.

A.3. Exponer, a título de hipótesis, las ideas que se posean sobre cómo se produce la luz y cómo se propaga hasta nuestros ojos.

Comentarios A.3

Para los alumnos las fuentes de luz son los objetos luminosos (tienen verdaderas dificultades para explicar cómo podemos ver objetos «no luminosos», como una silla o un libro, (Guesne, 1984), aspecto que será abordado más adelante, en la A.16), y aunque la mayor parte de ellos declara que la luz viaja desde los objetos luminosos en línea recta, trabajos como los de Rice y Feher (1987), han mostrado que no suelen considerar que la fuente emite igualmente en todas las direcciones. Se trata de una noción imprescindible para una comprensión correcta de la formación de imágenes en la cámara oscura, en espejos y lentes, y, en general, de la naturaleza de la luz. El profesor debe prestar, por tanto, la debida atención a este aspecto. La pregunta de cómo se propaga -teniendo en cuenta que se ha estudiado en el tema anterior las ondas y el sonido, con profundidad suficiente- da lugar a que aparezcan las dos opciones que históricamente se han enfrentado: la corpuscular y la ondulatoria.

Uno de los objetivos del curso es proporcionar una imagen de la ciencia no ingenua, próxima a la de la filosofía actual de la ciencia, y esta controversia y este tema, la luz, es especialmente indicado para ello. En efecto, el profesor, durante el desarrollo del tema, puede resaltar que la coexistencia de dos posturas contradictorias es relativamente frecuente en el inicio de una disciplina, o incluso, en su madurez, cuando se enfrenta a problemas de complejidad creciente. En estas ocasiones, deben buscarse, pues, pruebas que apoyen una u otra concepción, y, fundamentalmente, pruebas que permitan decidir -lo que es más difícil- entre los distintos modelos o hipótesis. A pesar de ello, -y la luz es un caso espectacular-, no se debe dar la imagen de que los hechos experimentales son unívocos, objetivos, y, por tanto, definitivamente concluyentes: modelos que fueron rechazados en una época con pruebas «concluyentes», volvieron a resurgir posteriormente.

A.4. Sugerir qué aspectos del comportamiento de la luz sería conveniente analizar para decidir si se trata de «chorros» de partículas pequeñísimas o de ondas, es decir, de perturbaciones que se propagan por un medio de modo análogo al sonido, las ondas en el agua, ...

A.5. La controversia iniciada en la antigüedad sobre la naturaleza de la luz queda plasmada en el diálogo imaginado por Einstein entre dos grandes científicos defensores de posturas contrapuestas: Newton y Huygens, que se reproduce en apéndice. Analizar dicho diálogo y exponer, a modo de resumen, cuáles son los fenómenos que cabe esperar según cada una de las concepciones.

Comentarios A.4 y A.5

Los alumnos, - que han realizado recientemente las actividades del apartado 2 del tema anterior, a las que nos remitimos-, se refieren, como en el caso del sonido, a la necesidad de un medio si se trata de una onda, y al estudio de lo que ocurre cuando se cruzan rayos de luz (superposición, interferencias), y cuando

esta llega a agujeros u obstáculos (difracción), es decir, a aquéllas propiedades que son características de las ondas y no del movimiento de partículas. Es posible que alguno de ellos se refiera, erróneamente, a que la propagación en línea recta apoya el modelo corpuscular. Si es así, será necesario recordar lo visto en el tema anterior sobre ello. En el desarrollo del diálogo de la A.5 aparecen todos estos puntos, quedando claro que si la luz es una onda, tendrá una longitud de onda pequeñísima.

2. LA PROPAGACION DE LA LUZ

Es necesario resaltar que la coexistencia de dos posturas contradictorias es relativamente frecuente en el inicio de una disciplina o, incluso, en su madurez, cuando se enfrenta a problemas de complejidad creciente. Deben buscarse, pues, pruebas que permitan decidir entre las distintas teorías. Este proceso está influenciado no sólo por el desarrollo de la técnica y la ciencia en una época determinada, sino también - en muchas ocasiones-, por el rango y prestigio de los científicos que defienden una u otra postura, independientemente de sus argumentos.

Vamos a ver, ahora, de qué modo las teorías corpuscular y ondulatoria dan cuenta de algunos fenómenos relacionados con la propagación de la luz.

2.1. Dirección y velocidad de propagación de la luz en un medio

Es posible citar un gran número de hechos que evidencian la propagación rectilínea de la luz.

A.6. Tanto la teoría corpuscular como ondulatoria sugieren una propagación rectilínea de la luz. Sugerir alguna forma de constatar dicha predicción.

A.7. Realizar alguna de las contrastaciones propuestas.

Comentarios A.6 y A.7

La experiencia cotidiana suministra ocasiones sobradas de constatar la propagación rectilínea: desde los rayos de luz que se observan cuando existen partículas de polvo en una habitación, hasta la existencia de sombras y penumbras. Los alumnos suelen referirse, además, a sencillos diseños más o menos ingeniosos: dos agujeros en pantallas separadas, ... Como se ha citado antes, muchos alumnos sólo dibujan rayos que se dirigen desde el foco hasta el agujero o el ojo, debido a que centran su atención en los efectos que la luz debe producir. Es necesario, como decíamos, que tomen conciencia de que cada punto de la fuente está emitiendo luz en todas direcciones (ver figura 1). Precisamente, si no se forma la imagen de un objeto en una lámina que se coloca frente a él, es porque a cada punto de la lámina está llegando luz proveniente de todos (o muchos) puntos del objeto simultáneamente (además de luz proveniente de otros objetos). Para que se forme la imagen en la lámina, a cada punto de la lámina sólo debe llegar luz proveniente de un punto del objeto (en el caso ideal). Esto se logra, por ejemplo, con la cámara oscura, que constituye una prueba, entre muchas otras, de la propagación rectilínea de la luz. Los alumnos deben dibujar un esquema donde se muestre que cada punto del objeto emite luz en todas direcciones, pero sólo llegan a la lámina los rayos que pasan por el agujero, dando lugar a una imagen invertida de poca intensidad, que, por ello, tiene que observarse en una cámara oscura (ver figura 2). Conviene que los alumnos realicen -como pide la actividad A.7- algunos de los diseños imaginados. En particular recomendamos la construcción de cámaras oscuras (en la forma muy elemental descrita, p.e., en el Manual de la Unesco para la Enseñanza de las Ciencias, figura 3).

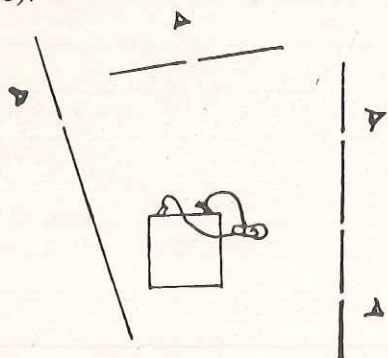


Fig. 1

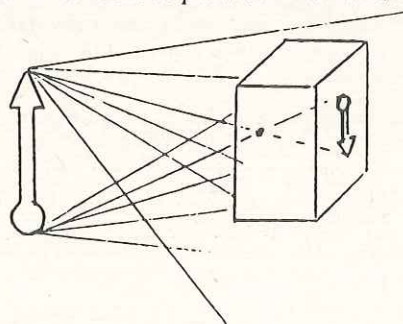
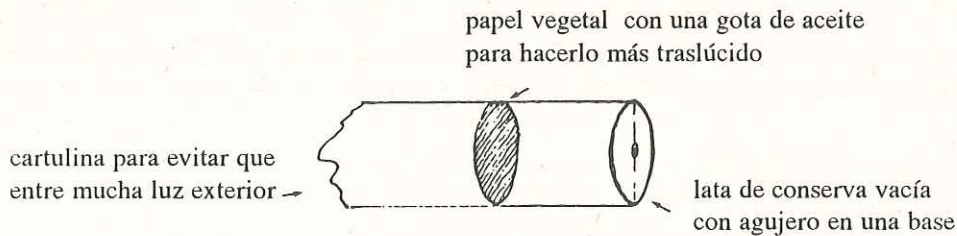


Fig. 2



A.8. La propagación rectilínea de la luz permite explicar y predecir la formación de sombras y, más concretamente, la formación de eclipses. Dibujar un esquema con las posiciones del Sol, Tierra y Luna que permita explicar el eclipse de Luna.

Así como la dirección de propagación de la luz es un problema resuelto desde antiguo -y fácil de justificar tanto en la concepción corpuscular como en la ondulatoria- la cuestión de la velocidad de propagación planteó mayores dificultades.

A.9. Exponer las ideas que se tengan sobre la velocidad de la luz.

A.10. Proponer algún diseño experimental adecuado para determinar la velocidad de la luz.

A.11. Comentar el diseño propuesto por Galileo en Diálogos sobre dos nuevas Ciencias, que se expone a continuación:

«Simplicio: - La experiencia de cada día nos enseña que la propagación de la luz es «instantánea», porque cuando vemos disparar de muy lejos una pieza de artillería, el chispazo nos llega a los ojos sin que transcurra tiempo y, en cambio, el sonido no llega a nuestros oídos sino tras un intervalo perceptible.

Sagredo: - Bueno, Simplicio, lo único que puedo inferir de esa experiencia tan conocida es que el sonido, para llegar a nuestros oídos, tarda más que la luz, pero no me dice si la venida de la luz es instantánea o si, aunque rapidísima, ocupa tiempo.

Salviati: - Lo escaso de la fuerza probatoria, así de estas observaciones como de otras por el estilo, me indujo a elucubrar un método mediante el cual puede uno averiguar con certidumbre si es en verdad instantánea la iluminación, o sea, la propagación de la luz.

Cada una de dos personas cogerá una luz metida dentro de una linterna u otro receptáculo, tal que una de dichas personas, poniéndose delante la mano o quitándosela, impida que pase la luz o la deje pasar hasta los ojos de la otra. Luego se pondrán una frente a otra, a unos cuantos codos de distancia, y se ejercitarán hasta adquirir tanta habilidad en descubrir y ocultar sus luces, que en el instante en que viere uno la luz de su compañero, descubra la suya. Tras de algunos ensayos, la respuesta será tan pronta, que el descubrirse de una luz seguirá al punto el descubrirse de la otra, de suerte que en descubriendo uno su luz verá al instante la luz del otro. Habiéndose adquirido su pericia a corta distancia, los dos experimentadores, aparejados como antes, ocuparán posiciones separadas entre sí por una distancia de dos o tres millas, y efectuarán el mismo experimento de noche...».

A.12. Exposición por el profesor del método de Röemer (1676) para medir la velocidad de la luz.

Comentarios A.9, A.10, A.11 y A.12

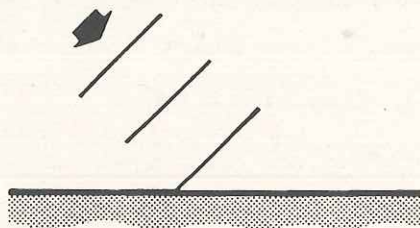
La discusión sobre la velocidad finita o infinita de la luz ya había sido planteada en la antigua Grecia, y aunque la experiencia cotidiana parece apoyar la idea de una propagación instantánea, el propio Galileo tomó parte en este debate interesándose por la medida de la velocidad de la luz. Es posible, además, que los alumnos, al comentar los párrafos de Galileo -quien no pudo evidentemente alcanzar un valor cuantitativo con el diseño propuesto- hagan referencia de una forma genérica a la necesidad de grandes distancias para obtener algún resultado, lo que conecta con los trabajos astronómicos de Röemer. Conviene resaltar que algunos de los contemporáneos de Röemer le ridiculizaron por el valor tan alto obtenido (222000 km/s) (ver Holton, 1976).

2.2. Fenómenos relacionados con el paso de la luz de un medio a otro: reflexión y refracción de la luz.

El estudio de los fenómenos que se producen cuando la luz pasa de un medio a otro, permite explicar tanto las imágenes que aparecen en los espejos (reflexión) como la «curvatura» aparente de los objetos parcialmente sumergidos en agua (refracción), abordaremos a continuación dicho estudio.

2.2.1. La reflexión de la luz

- A.13. Explicar la reflexión de la luz -ayudándose de un esquema gráfico-, a partir de la concepción corpuscular. Exponer (opcional) las leyes que regirían dicha reflexión.
- A.14. Explicar igualmente la reflexión de la luz a partir de la concepción ondulatoria. Utilizando el principio de Huygens -introducido en el tema anterior-. construir la onda reflejada correspondiente a un frente de onda como el del esquema y establecer (opcional) las leyes de la reflexión.



Comentarios A.13 y A.17

No se trata tanto de justificar las leyes de la reflexión, que no resulta fácil para los alumnos de esta edad en el modelo corpuscular, como de que imaginen las partículas de luz, como si fueran pelotas, chocando con la superficie separadora y rebotando.

En el caso de las ondas, conviene orientar, como contrastación, hacia un trabajo práctico de construir cuidadosamente la onda y medir los ángulos. Ello servirá, a su vez, de revisión del principio de Huygens, que ha sido desarrollado y utilizado en el tema anterior (véase, por ejemplo, Tarásov y Tarásova (1985), pgs, 17 y 18, o las citadas del tema anterior). Al final, debe resaltarse que con los dos modelos se puede explicar la reflexión (al igual que la propagación rectilínea y, posteriormente, la refracción).

- A.15. Explicar la formación de la imagen de un objeto -para mayor simplicidad, puntual-, en un espejo plano, aplicando las leyes de la reflexión.

Comentarios A.15

Aunque dibujar los rayos que salen del foco puntual y rebotan en el espejo, de manera que el ángulo de incidencia y el de reflexión sean iguales, no ofrece excesiva dificultad a los alumnos, debe prestarse especial atención a la «formación de la imagen». En efecto, el profesor debe situar en los esquemas el dibujo de un «ojo» que represente al observador (mejor varios ojos en distintas posiciones, de manera que comprendan que varias observaciones están viendo el objeto en el espejo simultáneamente). Antes, al hablar de la cámara oscura, hemos dicho que para que se forme una imagen, tiene que existir una correspondencia punto a punto entre objeto e imagen, es decir, los rayos procedentes de un punto de la fuente luminosa deben coincidir (converger) en un sólo punto de la imagen (su correspondiente). Evidentemente, éste no es el caso de los espejos: los rayos procedentes de un punto del objeto divergen después de reflejarse, pudiendo llegar a muchos puntos distintos de, por ejemplo, una lámina que se colocara frente al espejo. El profesor debe resaltar, pues, el papel del ojo como parte integrante del sistema óptico (especialmente cuando éste produce imágenes virtuales!), que hace que los rayos provenientes de un mismo punto del objeto, aunque diverjan después de reflejarse, se junten en un solo punto (idealmente) en la retina. En definitiva, toda imagen debe ser, al final, real en la retina.

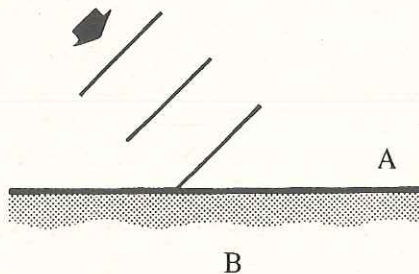
- A.16. Explicar cómo es posible que veamos objetos, como una silla, etc., que no son luminosos.
- A.17. Explicación por el profesor de lo que se entiende por reflexión difusa y sus aplicaciones.

Comentarios A.16 y A.17

Según el trabajo de Guesne (1984), por ejemplo, los alumnos piensan que la luz sólo se refleja en los espejos, prácticamente nadie piensa que los objetos ordinarios reflejan la luz. Por tanto, no es de extrañar que los alumnos encuentren, inicialmente, dificultades para contestar la A.16 evidentemente, la comprensión de los alumnos de este hecho, es fundamental para el entendimiento de la óptica. Es conveniente, incluso que el profesor proponga más preguntas que incidan en este aspecto (¿por qué las sombras no son totalmente negras? ¿por qué no podemos ver objetos que están en la oscuridad?, ¿cómo es posible que veamos un rayo de luz que entra por una rendija de la ventana si no nos da directamente en los ojos?...). La comprensión de este aspecto por los alumnos, también supone profundizar en por qué los objetos no reflejan la luz igual que los espejos, es decir, por qué al mirar un objeto vemos ese objeto y no las imágenes de los objetos que le envían luz. El propio profesor puede proponer experiencias que intenten clarificar este interrogante, utilizando, por ejemplo, dos espejos, enviando el reflejo de la luz solar (o de una bombilla) producido por uno de ellos hacia el otro lado, hacia la pared y hacia una zona de tal modo que la mitad del reflejo incida sobre el espejo y la otra mitad en la pared. Cuando la luz reflejada por el primer espejo incide en la pared los alumnos situados en puntos muy distintos de la clase ven el trozo de pared iluminado: la luz se refleja en todas direcciones (reflexión difusa). Cuando, por el contrario incide en el espejo no se ve el trozo de espejo iluminado: los rayos se reflejan en una sola dirección y si se colocara el ojo en la trayectoria del haz reflejado, se vería la imagen del foco luminoso. Si no ocurriera la reflexión difusa en los objetos, de día y en la calle, por ejemplo, sólo veríamos imágenes del sol. Evidentemente, es necesario considerar más aspectos físicos, -color, luminosidad,...- para llegar a la comprensión completa de la formación de la imagen de un objeto en la retina. Algunos de estos aspectos se tratan en actividades complementarias, que el profesor puede realizar a lo largo del desarrollo del tema, siendo consciente de la necesidad de que el hilo conductor fundamental del tema no quede desfigurado por la consideración de «detalles» o puntos excesivamente complejos, que podrían tratarse mejor al final del mismo o en cursos superiores.

2.2.2. La refracción de la luz

- A.18.** Explicar cualitativamente la refracción de la luz, a partir de la concepción corpuscular y de la ondulatoria.
- A.19.** Suponiendo que la velocidad de la luz en el medio B es inferior que en el medio A, dibujar cualitativamente la onda refractada, utilizando el P. de Huygens.

**Comentarios A.16 y A.19**

A partir del modelo corpuscular podría explicarse la refracción suponiendo que al pasar a un medio más denso (por ejemplo del aire al vidrio o agua) la componente transversal de la velocidad disminuiría y la horizontal no variaría (como si se tratara de una pelota de tenis). En el tema anterior, ya se ha aplicado el P. de Huygens para explicar la refracción de las ondas. Según esta construcción, el rayo refractado se debería acercar más a la normal que el rayo incidente, cuando la luz pasa de un medio a otro donde viaja con menor velocidad (predicción contraria a la del modelo corpuscular).

Al final de este apartado, el profesor debe indicar a los alumnos que la mayor parte de los instrumentos ópticos usuales (que, junto con el estudio del ojo y sus defectos, se abordan en las actividades complementarias) son aplicaciones de la luz, y su buen funcionamiento y utilidad, son en buena medida, una corroboración de dichas propiedades.

3. NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ

Los fenómenos estudiados hasta aquí pueden explicarse, con mayor o menor artificialidad, tanto con la concepción corpuscular como con la ondulatoria. Como vimos en el tema anterior y también en el diálogo de la A.5, los fenómenos típicamente ondulatorios son la difracción y la interferencia.

A.20. Indicar cómo se podría constatar si la luz se difracta o no.

A.21. Breve exposición del profesor sobre el establecimiento de la teoría ondulatoria de la luz.

Comentarios A.20 y A.21

Con todo el desarrollo seguido hasta aquí, y con lo realizado en las actividades ya citadas del tema del movimiento ondulatorio, los alumnos ya saben que la luz es una onda, su longitud de onda es muy pequeña, y que, por tanto, para observar difracción, hará falta utilizar objetos, rendijas o agujeros muy pequeños. Así, por ejemplo, se presenta difracción cuando se observa una luz distante a través de agujeros muy pequeños (del tamaño de una punta de alfiler, los espacios entre partículas de polvo en un medio sucio, o los de una cortina de nylon,...), experiencias sencillas que pueden realizarse fácilmente. En la actualidad es posible disponer, a un precio asequible para los centros, de aparatos de luz láser con los que puede observarse fácil y claramente fenómenos de difracción en agujeros y rendijas, e interferencia (doble rendija).

En lo que se refiere a la interferencia, en el tema anterior, se señalaron las condiciones para que esto ocurriera: igual amplitud y frecuencia, concordancia de fase, ..., por lo que las experiencias de interferencias luminosas son difíciles de realizar si no se dispone de lámparas monocromáticas o láser.

Quizás el fenómeno de interferencia cotidiano más vistoso y sencillo de realizar e interpretar sea el de los colores que se producen en una película de aceite que flota sobre el agua.

Es necesario, pues, realizar estas sencillas experiencias que apoyan de un modo rotundo el establecimiento de la teoría ondulatoria por Young y Fresnel. También es posible utilizar fotografías o diapositivas que se encuentran en los buenos manuales de óptica.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

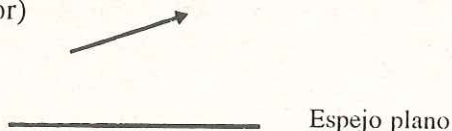
A.22. El fenómeno de la refracción permite ver que la luz blanca está formada por luces de distintos colores con velocidades distintas en medios materiales como agua, vidrio, etc.. Producir esta descomposición, conocida como dispersión y explicarla.

Dedicaremos estas actividades complementarias a trabajos prácticos de manejo de lentes y espejos, estudio de formación de imágenes, etc., revisando, cuando sea así los cursos de Educación General Básica.

Conviene tener presente que el funcionamiento de los instrumentos ópticos se explica completamente a partir de las tres leyes de la óptica geométrica (propagación rectilínea, ley de la reflexión y de la refracción) y, en la medida que dicho funcionamiento es correcto, constituyen una verificación de las mismas.

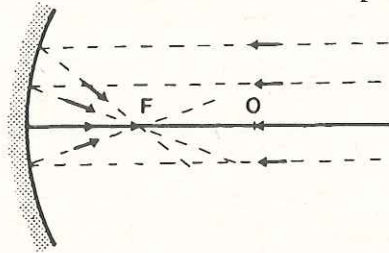
A.23. Considerar un objeto puntual frente a un espejo plano y trazad el camino que seguirían algunos rayos desde el objeto al espejo, aplicando las leyes de la reflexión para trazar los rayos reflejados. Situar, por último, el punto imagen. Si la distancia del objeto al plano es d , ¿a qué distancia se encuentra la imagen?

A.24. Construir la imagen del objeto del esquema adjunto. Indicar las características de dicha imagen (real/virtual, directa/invertida, mayor/igual/menor)

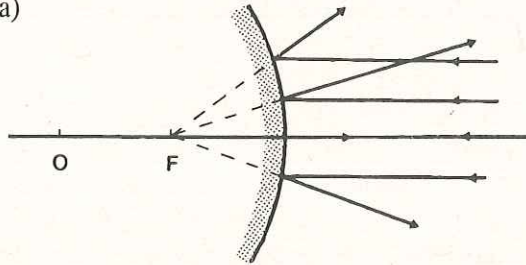


A.25. Mostrar, mediante trazado de los rayos, que en un espejo esférico cóncavo todos los rayos que inciden paralelos al espejo, al reflejarse, se localizan en un punto (foco). Verificar que la distancia del foco

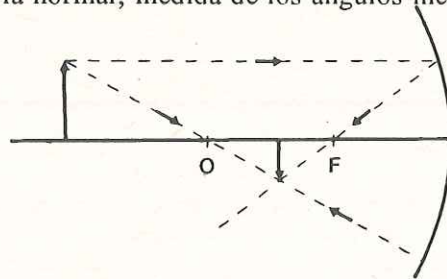
al espejo es la mitad del radio (Tener presente que la normal a una superficie esférica pasa por el centro, es decir, lleva la dirección del radio en dicho punto).



A.26. Proceder a justificar, mediante construcción, la existencia de un foco virtual en los espejos esféricos convexos (ver figura)



A.27. Teniendo en cuenta que en un espejo esférico los rayos que inciden paralelos, al reflejarse pasan por el foco y que los rayos que llevan la dirección de los radios (es decir, que pasan por el centro) no se desvían al reflejarse, la construcción de la imagen de un objeto resulta muy sencilla sin necesidad de recurrir al trazado de la normal, medida de los ángulos incidente y reflejado, etc. (ver figura)



De acuerdo con esto, construir la imagen de un objeto dada por un espejo esférico cóncavo en los siguientes usos:

El objeto se encuentra:

- más alejado del espejo que el centro O de curvatura;
- sobre el centro de curvatura;
- entre el centro de curvatura y el foco;
- en el foco;
- entre el foco y el espejo.

Indicar las características de la imagen.

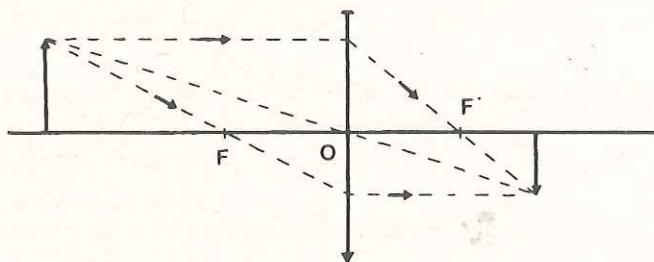
A.28. Construir la imagen dada por un espejo esférico convexo y decir sus características.

A.29. Utilizar espejos cóncavos y convexos, aunque no sean perfectamente esféricos -una cuchara puede servir- para verificar cualitativamente si las imágenes se ajustan a las predicciones alcanzadas en las actividades anteriores. Dar una estimación aproximada de la distancia focal y el radio de curvatura.

A.30. Para proceder a la construcción de imágenes en las lentes formadas por superficies esféricas (biconvexas, bicóncavas, planoconvexas, etc.), tendremos en cuenta que también por refracción se produce la focalización de los rayos:

Utilizar una lupa para mostrar experimentalmente la existencia de un foco a cada lado de la lente y dar una estimación de la distancia focal.

- A.31. Explicar la construcción de la imagen en una lente convergente (biconvexa) dada por el esquema adjunto



- A.32. Proceder a construir la imagen de un objeto dada por una lente convergente (biconvexa) en los siguientes casos:

El objeto se encuentra:

- muy alejado del foco;
- cerca del foco;
- en el foco;
- entre el foco y la lente.

Indicar en cada caso las características de la imagen. ¿En qué caso actúa como lupa?.

- A.33. Proceder a la construcción de la imagen dada por una lente bicóncava (divergente) dando sus características.

- A.34. Utilizar lentes convergentes y divergentes para verificar las conclusiones de las dos últimas actividades.

- A.35. Enumerar algunos de los principales instrumentos ópticos que se conozcan (puede realizarse una pequeña búsqueda bibliográfica).

- A.36. Construir un antejo de Galileo siguiendo las indicaciones del profesor -utilizando, por ejemplo, dos tubos que deslicen uno dentro del otro de forma que se puedan colocar las lentes a la distancia requerida.

- A.37. A partir de material bibliográfico suministrado por el profesor, realizar un estudio sobre el microscopio simple y su manejo.

Apéndice

La hipótesis corpuscular desarrollada por Newton resulta de fácil comprensión; la luz está constituida por pequeños cuerpos o «corpúsculos», de distintos tamaños según su color, que se propagan según las leyes de la mecánica.

La hipótesis ondulatoria de la luz presentaba más dificultades, ya que, como acabamos de estudiar en el sonido, necesitaba la existencia de un medio a través del que propagarse. Huygens, contemporáneo de Newton, fue quien elaboró y defendió esta teoría.

Ambos científicos contaban con pruebas a favor y en contra de sus teorías, pero veamos cómo el gran científico Einstein expone dichos argumentos en forma de supuesto diálogo entre Newton y Huygens.

Newton: - En la teoría corpuscular, la velocidad de la luz tiene un significado concreto. Es la velocidad con que se propagan los corpúsculos en el vacío. ¿Cuál es la interpretación de dicha velocidad en la teoría ondulatoria?

Huygens: - Significa, naturalmente, la velocidad de la onda luminosa. Toda onda conocida se propaga con una determinada velocidad y lo mismo acaece en la onda luminosa.

Newton: - Esto no es tan simple como parece. Las ondas sonoras se propagan en el aire, las olas oceánicas en el agua. Toda onda requiere un medio material a través del cual propagarse. Pero la luz atraviesa el vacío en el cual el sonido no se propaga. Admitir una onda en el vacío es realmente no admitir onda alguna.

Huygens: - Sí, esto es una dificultad, aunque no nueva para mí. Mi maestro pensó detenidamente este asunto y decidió que la única salida es admitir la existencia de una sustancia -el éter- que es un medio transparente y ubicuo. El universo está, por decirlo así, sumergido en el éter. Si nos decidimos por la introducción de este concepto todo resultará claro y convincente.

Newton: - Pero yo objeto semejante suposición. En primer término, introduce una nueva sustancia hipotética, y ya tenemos demasiadas de esas sustancias en la física. Hay además una segunda razón para oponerse a tal hipótesis. Es indudable que también cree que debemos explicar todos los fenómenos en términos mecánicos. Pero, ¿qué me dice del éter? ¿Puede constestar usted la sencilla cuestión de cómo está constituido de partículas elementales el éter y cómo se comporta en otros fenómenos?

Huygens: - La primera objeción está por cierto justificada. Pero por la introducción de esa materia artificial e imponderable -el éter- nos libramos en el acto de los mucho más artificiales corpúsculos luminosos. Tenemos aquí sólo una sustancia «luminosa» en lugar de un número infinito de ellas, correspondientes a otros tantos colores del espectro. ¿No piensa usted que esto constituye un progreso real?. Por los menos todas las dificultades se concentran en un sólo punto. No necesitamos ya la suposición artificiosa de que las partículas se propagan todas con la misma velocidad en el vacío. No podemos dar una interpretación mecánica del éter. Pero no hay duda de que investigaciones futuras de la óptica y, tal vez, de otros fenómenos revelará su estructura. Por el momento tenemos que esperar nuevos experimentos y conclusiones. Pero tengo la esperanza de que finalmente seremos capaces de establecer el problema de la estructura mecánica del éter.

Newton: - Dejemos este asunto para otro momento, ya que no podemos resolverlo ahora. Me gustaría saber cómo explica su teoría, dejando de lado las anteriores dificultades, los fenómenos que nos aparecen claros e inteligibles a la luz de la teoría corpuscular. Tomemos, por ejemplo, el hecho de la propagación rectilínea de los rayos luminosos en el vacío. Un trozo de papel colocado enfrente de una lámpara produce una sombra bien delimitada. No sería posible la formación de sombras nítidas, si la teoría ondulatoria fuera correcta porque las ondas bordearían los extremos de la pantalla y, en consecuencia, aquellas aparecerían esfumadas. Una pequeña embarcación, como usted sabe, no es un obstáculo insalvable para las olas del mar, ya que ellas lo rodean y continúan del otro lado de ella.

Huygens: - Esto no es un argumento decisivo en contra. Supongamos que ondas cortas de un río incidan sobre el costado de un barco grande; se observa que no pasan al otro lado de aquel. Si las ondas son bastante pequeñas y el buque bastante grande, se puede decir, parangonando, que también en este caso se producen sombras nítidas. Es muy probable que la luz parezca propagarse en línea recta, únicamente porque su longitud de onda es muy pequeña en comparación con el tamaño de los obstáculos comunes y de las aberturas usadas en los experimentos. Pero si fuera posible idear obstáculos bastante pequeños, es probable que no se producirían sombras nítidas. Comprendemos que la construcción de tales aparatos que prueben que la luz tiene la propiedad de doblarse, pueda, experimentalmente, ser muy difícil. Sin embargo, si se puede realizar, ello constituiría un experimento crucial para decidir entre la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular de la luz.

Newton: - La teoría ondulatoria puede conducir al descubrimiento de nuevos hechos en el futuro, pero no conozco ningún dato experimental que la confirme. Mientras no se pruebe experimentalmente que la luz puede contornear un obstáculo, no veo ninguna razón para no creer en la teoría corpuscular, que me parece más simple, y, por tanto, mejor que la teoría ondulatoria.

ELECTROSTATICA

INTRODUCCION

Vamos a iniciar aquí el estudio de un nuevo aspecto del comportamiento de la materia, de una nueva forma de interacción. Se trata de la interacción existente entre cuerpos cargados eléctricamente. Dicho estudio supuso un gran paso adelante en la comprensión de la estructura de la materia al tiempo que posibilitó un salto cualitativo en el dominio del hombre sobre la naturaleza.

A.1. Enumera los fenómenos eléctricos que hayáis observado en la vida diaria. Hacer una breve exposición del papel jugado por la electricidad en el desarrollo científico-técnico, y por lo tanto, en las condiciones de vida de los hombres.

Comentarios A.1.

Esta actividad planteada de forma abierta, permite que los alumnos aporten valiosas informaciones sobre las ideas que poseen acerca de los fenómenos eléctricos.

Además de los fenómenos puramente electrostáticos como la electrización por frotamiento, se refieren a otros, como la producción de luz y calor, la utilización de las máquinas eléctricas, aparatos de radio y televisión, etc.. Toda esta información puede servirnos de base para delimitar los contenidos a estudiar en esta parte de la física y permitirá fijar el hilo conductor para el desarrollo de este capítulo y el siguiente.

Comenzaremos abordando el estudio de las propiedades eléctricas en sus manifestaciones más elementales: la producción de carga eléctrica y la interacción entre cuerpos cargados eléctricamente y en reposo (electrostática), dejando para el capítulo siguiente el estudio del desplazamiento de cargas eléctricas (corriente eléctrica).

El índice del tema es el siguiente:

1. Fenómenos de electrización
 - 1.1 Primeras experiencias de electrización por frotamiento (triboelectrización)
 - 1.2 Estudio de la transmisión de la propiedad eléctrica
 - 1.3 Nuevos instrumentos basados en el carácter conductor de los metales
2. Estudio cuantitativo de las fuerzas entre cargas eléctricas: Ley de Coulomb.
3. Introducción al concepto de campo eléctrico.
 - 3.1 Idea cualitativa de campo eléctrico.
 - 3.2 Concepto de intensidad del campo eléctrico en un punto
 - 3.2.1 Determinación de la intensidad del campo en un punto.
 - 3.2.2 Determinación de la intensidad del campo resultante para varias cargas en algunos casos sencillos.
 - 3.3 Representación de un campo eléctrico: líneas de fuerza
4. Estudio energético de la interacción eléctrica
 - 4.1 Energía potencial electrostática
 - 4.2 Concepto de potencial eléctrico en un punto
5. Actividades complementarias

1. FENOMENOS DE ELECTRIZACION

1.1 Primeras experiencias de triboelectrización

Aunque desde muy antiguo se conoce que ciertas sustancias como el ámbar adquieren, por frotamiento, la propiedad de atraer objetos ligeros, solo tras el establecimiento de la mecánica, y siguiendo inicialmente una metodología similar, se inicia una investigación realmente científica de las propiedades eléctricas.

Partimos pues del conocimiento de que ciertas sustancias adquieren por frotamiento la propiedad de atraer cuerpos ligeros (plumas, trocitos de papel, .) Iniciaremos ahora un estudio sistemático con objeto de averiguar que tipo de sustancias presentan dicha propiedad.

A.2. Proceder a experimentar electrizando por frotamiento (triboelectrización) todo tipo de sustancias disponibles, utilizando para ello, reglas, bolígrafos, tubos de, barritas metálicas, ... para así, familiarizarse con esta nueva propiedad y dilucidar la siguiente cuestión básica : ¿En qué sustancias se presentan las propiedades eléctrica

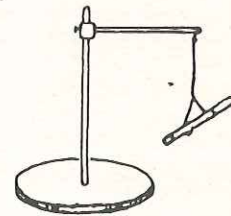
Comentarios A.2.

Los resultados de esta actividad no son muy concluyentes y de hecho algunos grupos de trabajo incluyen al vidrio, madera, etc., junto a los metales, en el grupo de sustancias que no se electrizan. Las discrepancias que aparecen entre algunos grupos, da pie para que el profesor planteé la necesidad de instrumentos más precisos.

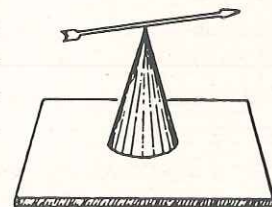
A.3. Diseñar algunos instrumentos sencillos y suficientemente sensibles para la detección de pequeñas fuerzas eléctricas.

Comentarios A.3.

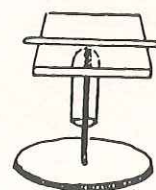
Las propuestas de los alumnos consisten básicamente en suspender un objeto ligero de un hilo (con lo que puede ser atraído con facilidad) o en una varilla suspendida por su centro, o mejor, ayudándose de un soporte (ver figuras) que mantenga la varilla en posición horizontal para que pueda girar fácilmente también. El profesor puede valorar dichas propuestas e informarles de que son estos precisamente los instrumentos que en su momento fueron diseñados.



El primer instrumento eléctrico, llamado versorio (del latín verso, girar) que diseñado y utilizado por Gilbert (1544-1603). Conviene situar el trabajo de Gilbert señalando que su interés principal era el magnetismo en una época marcada por el desarrollo de la navegación. Sus estudios pretendían precisamente establecer una clara división entre el magnetismo y el «efecto ámbar» (con que se conocía a la electrización por frotamiento).



Otro tipo de versorio con mayores posibilidades experimentales, puede construirse con una plancha de material ligero, (por ej. «corcho blanco»), en cuyo centro se incrusta un tubo de ensayo que puede girar sobre un clavo largo y de punta fina que hace de pivote. Puede utilizarse para estudiar las acciones entre dos cuerpos cargados, colocando uno de ellos sobre la plataforma y aproximando el otro.



A.4. Proceder a la construcción de alguno de los instrumentos diseñados.

A.5. Manejar dichos instrumentos con vistas a un estudio cualitativo y sistemático de las propiedades eléctricas (fenómenos que acompañan a la electrización por frotamiento, acciones entre cuerpos cargados, etc.). Exponer los resultados alcanzados.

Comentarios A.5.

Los resultados obtenidos permiten a los alumnos confirmar el hecho de que la mayoría de las sustancias, a excepción de los metales, adquieren al frotarlos, propiedades eléctricas.

Por otra parte, el péndulo electrostático y mejor aún, el versorio, permiten ver fácilmente que la atracción eléctrica va seguida, a menudo, de repulsiones eléctricas. Conviene indicar a los alumnos que este fenómeno de la repulsión fue descubierto siglos más tarde que la atracción (conocida desde los antiguos griegos) y supone un indudable refinamiento de la observación.

Las acciones entre cuerpos cargados (que pueden estudiarse fácilmente con un versorio como el de la figura...) evidencian muy claramente la existencia de fuerzas atractivas y repulsivas. Los alumnos pueden constatar así la fuerte repulsión entre dos reglas de plástico frotadas mientras que por ejemplo, un tubo de vidrio y una barra de ebonita electrizados, se atraen.

Los alumnos pueden señalar por último el papel que juega la distancia entre los objetos cargados, al observar que la acción entre los mismos se debilita rápidamente con la distancia.

A.6. ¿Qué interpretación del comportamiento eléctrico sugieren los resultados alcanzados hasta aquí?

Comentarios A.6.

Los resultados anteriores son interpretados por los propios alumnos, refiriéndose a la existencia de dos tipos de electricidad. Esta idea, sin embargo, es en ocasiones una simple memorización no significativa. Conviene por ello, plantear a los alumnos una actividad que favorezca la profundización y la interpretación detenida de los fenómenos estudiados a la luz de esta idea, que debe ser considerada como una hipótesis que precisa justificación y verificación.

A.7. Tratad de explicar, a la luz de las hipótesis introducidas, la fenomenología hasta aquí establecida. En particular:

- El hecho de que los cuerpos habitualmente no posean propiedades eléctricas (estado neutro) y las adquieran al frotarlos con otros.
- El hecho de que al aproximar un cuerpo cargado a otro neutro (un pequeño papel, el versorio, etc..) este sea atraído.
- El hecho de que al tocar un cuerpo neutro con otro cargado, aparezca a menudo una repulsión.

Comentarios A.7.

Los comentarios que suelen hacer los alumnos, los podemos resumir esquemáticamente:

a) El hecho de frotar, favorece gracias a la energía que se comunica, la movilidad de las cargas y el paso de un cuerpo a otro, quedando cada uno, con un exceso de carga de signo contrario. Volviendo a adquirir el estado neutro cuando entran en contacto, es decir, volviendo a poseer igual cantidad de carga positiva que de negativa. Precisamente esta idea de neutralización mutua es la que da sentido a los nombres de positiva y negativa que reciben los dos tipos de electricidad.

b) La tracción que ejerce un cuerpo electrizado sobre otro neutro puede interpretarse admitiendo que la fuerza electrostática provoca una separación de cargas en el cuerpo neutro, lo que hará predominar la fuerza atractiva, por ser las cargas de signo contrario las más próximas.

c) Si un cuerpo cargado (A) con uno neutro (B) se tocan, las cargas en exceso de (A) neutralizarán a las de signo contrario del cuerpo (B), lo que provocará una repulsión, porque a partir del contacto, ambos cuerpos quedan cargados con carga de igual signo.

1.2 Estudio de la transmisión de la propiedad eléctrica

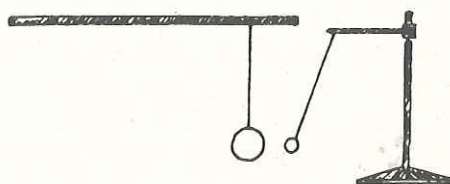
Señalemos, por último, algunos de los problemas que quedan pendientes, en particular: ¿por qué los metales son las únicas sustancias aparentemente no eléctricas, es decir, que no se electrizan por frotamiento? ¿Qué puede decirse de la propagación de las propiedades eléctricas a través de los cuerpos? Comencemos por investigar este último problema.

A.8. Diseñar un experimento que permita comprobar la propagación de la electricidad a través de distintas sustancias.

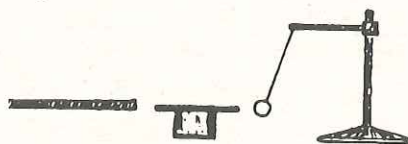
A.9. Proceder a la realización de dicho estudio y exponer los resultados obtenidos.

Comentarios A.8. y A.9.

Los montajes sugeridos por los alumnos suelen consistir en interponer entre un cuerpo cargado y un detector (péndulo o versorio) una barra de la sustancia a investigar suspendida o apoyada en un objeto del que se sepa ya, que es aislante.



Sin embargo un montaje también muy sencillo y que no exige disponer ya de objetos aislantes es el que utilizó Stephan Gray, a cuyo nombre está ligado el estudio de la conducción eléctrica.



Colgaba simplemente una esferita de un cable unido a un tubo de vidrio. Basta frotar el tubo y observar si la esfera posee o no la propiedad eléctrica para averiguar si la sustancia de la que está hecha el cable es o no conductora.

Los resultados obtenidos con experimentos como los descritos u otros más perfeccionados, llevaron a establecer que sólo los metales conducen la corriente eléctrica. Es decir, --y esto es lo que señalan también los alumnos-- se llegó a una nueva clasificación de las sustancias en buenas conductoras (los metales) y malas conductoras (todas las demás).

A.10. Comparar los resultados obtenidos, con los obtenidos en la actividad A.2. Ver la semejanza entre ambas clasificaciones. Dar una hipótesis explicativa de dicha semejanza.

A.11. Realizar los experimentos y analizar los resultados. Sacar consecuencias acerca de la naturaleza eléctrica de la materia.

Comentarios A.10. y A.11.

El hecho de que los metales sean conductores sugiere a los alumnos que el fracaso de su electrización por frotamiento -que había conducido a su clasificación como sustancias «no eléctricas»- se explica por el carácter conductor de los metales así como del cuerpo humano y de la Tierra.

Una forma de verificar esta hipótesis que los alumnos proponen consiste en frotar un objeto metálico, pero manteniéndolo sujeto con un mango de material aislante que interrumpa la cadena de conductores. La experiencia puede hacerse con el versorio utilizando una aguja metálica con mango de goma. Es necesario que el objeto metálico sea pequeño para que la carga, que se reparte por toda la superficie del metal, dado su carácter conductor, siga teniendo un valor apreciable en cualquier punto (de otra forma el experimento sería negativo).

Se llega así a una nueva imagen del comportamiento de la materia, según el cual todas las sustancias poseen propiedades eléctricas. Este carácter general de los fenómenos eléctricos iba a conferir a su estudio -y es preciso resaltar esto ante los alumnos- una importancia primordial en el proceso del conocimiento de la estructura y comportamiento de la materia.

1.3 Nuevos instrumentos basados en el carácter conductor de los metales

Basándose en el carácter conductor de los metales, fue posible construir nuevos instrumentos de detección de cargas que permitieron observaciones cuantitativas.

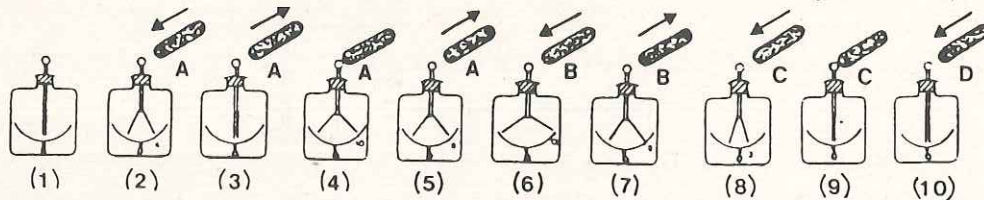
A.12. Diseñar, -basándose en el carácter conductor de los metales y la naturaleza de las interacciones eléctricas hasta aquí establecida- algún nuevo instrumento que nos permita obtener valores cualitativos de la carga que posee un cuerpo.

Comentarios A.12.

Se suele proponer la construcción dentro de una caja o botella, donde el ambiente sea seco, de dos láminas metálicas muy finas y móviles, conectadas por un extremo a una varilla conductora que en el exterior del recipiente posea una bola metálica. Cualquier cuerpo cargado al aproximarse a la bola, inducirá sobre ella una carga, lo que provocará que las láminas se separen, tanto más cuanto mayor sea la carga inducida. Esto es básicamente lo que se conoce como un electroscopio. Si le acoplamos una escala convenientemente calibrada, el electroscopio se convierte en un electrómetro susceptible de proporcionar datos, siempre (es preciso puntualizar) de escasa precisión.

El electroscopio y, sobre todo, el electrómetro, pueden proporcionar mucha información sobre el comportamiento eléctrico de los cuerpos, como evidencian las actividades siguientes.

A.13. Interpretar las indicaciones del electrómetro en la siguiente serie de operaciones. En particular, extraer la máxima información acerca del estado eléctrico de A, B, C y D.



A.14. La electrización de un cuerpo al frotarlo con otro hace suponer que también este se electriza. Profundizar en dicha hipótesis, señalando las posibles relaciones entre las cargas de los cuerpos. Concebir un montaje experimental para su contrastación.

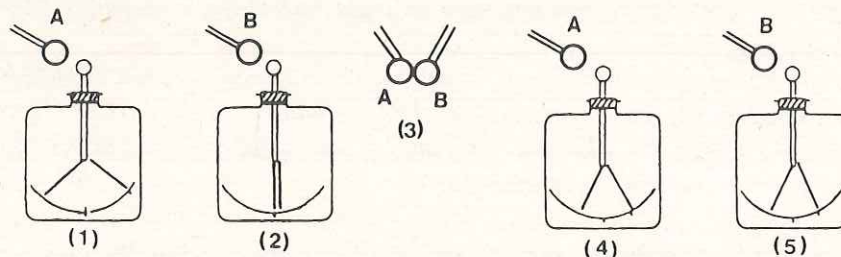
Comentarios A.14.

Una hipótesis plausible -implícita o explícitamente enunciada por los alumnos en la actividad A.7- es aceptar que cuando dos cuerpos se frotan entre sí ambos quedan cargados con electricidad de distinto signo y en la misma cantidad (por paso de cargas de uno al otro). Una forma simple de contrastación sugerida en ocasiones por los alumnos consiste en constatar que si uno de los objetos al tocar un electroscopio produce una cierta separación, el otro la anulará. Esta constatación es, sin embargo, difícil de realizar en la práctica y se exigen montajes más sofisticados.

El profesor puede, pues, confirmar la hipótesis de los alumnos refiriéndose a la existencia de abundante evidencia experimental (reacciones químicas, procesos nucleares, etc..) y solicitar el enunciado de este nuevo principio de conservación de la carga. Ello plantea a menudo dificultades a los alumnos pues no basta con señalar que en un sistema aislado la carga se conserva sino que la carga neta (suma algebraica de cargas positivas y negativas) lo hace.

A.15. Interpretar las indicaciones del electrómetro en la siguiente serie de operaciones:

- Acercamos dos esferas iguales A y B a sendos electrómetros descargados (1)(2),
- Tocamos las dos esferas A y B (3), y tras separarlos volvemos a acercarlos a sendos electrómetros descargados (4) y (5)



Conviene ahora recapitular los resultados alcanzados (que, corresponden históricamente a varias décadas de investigación sobre las propiedades eléctricas) dada la importancia de los mismos para la comprensión de la estructura de la materia.

A.16. Recapitular ordenadamente la imagen sobre el comportamiento eléctrico de la materia alcanzado hasta aquí.

Comentarios A.16.

Se puede relacionar el comportamiento eléctrico estudiando con los conocimientos actuales acerca de la estructura de la materia (átomos, electrones, ..). Pero sobre todo importa resaltar el hecho de que los resultados anteriores iban a jugar un papel fundamental en el establecimiento de dicha estructura.

El estudio hasta aquí realizado de la electricidad, nos ha proporcionado casi exclusivamente resultados cualitativos. Es necesario pues, un estudio cuantitativo en todo aspecto imprescindible trabajo científico. A esto dedicaremos el próximo apartado.

2. ESTUDIO CUANTITATIVO DE LAS FUERZAS ENTRE CARGAS ELECTRICAS

Vamos a proceder al estudio de la atracción y repulsión entre cargas, para obtener información cuantitativa acerca del valor de estas fuerzas. Este es el problema que se plantearon los científicos a mediados del siglo XVIII, dado que pese a un desarrollo espectacular que consiguió despertar gran interés social la electricidad, como ciencia cuantitativa, apenas había progresado.

A.17. Emitir una hipótesis acerca de los factores de que puede depender el valor de la fuerza entre dos cuerpos puntuales cargados. Profundizar dicha hipótesis proponiendo una forma de dependencia concretas para los distintos factores.

Comentarios A.17.

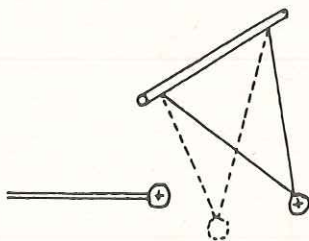
Para simplificar los fenómenos de interacción entre cargas eléctricas, se debe hacer referencia a la utilización de objetos prácticamente sobre los que se deposita la carga eléctrica. Las observaciones cualitativas que han venido realizando los alumnos les llevan a suponer que la fuerza entre dos cuerpos cargados aumenta cuanto menor es la distancia que los separa y mayor es la carga eléctrica de dichos cuerpos. En ocasiones hacen también referencia a la influencia del medio.

A.18. Diseñar un experimento que nos permita contrastar las hipótesis emitidas. Concebir, concretamente, alguna forma simple de:

- medir con facilidad fuerzas entre cargas
- obtener distintas cargas de valores relativos conocidos

Comentarios A.18.

Las respuestas ante el primer problema son variadas, desde una varilla cargada y colgada por su centro, semejante a una balanza de torsión, hasta suspender de un hilo aislante una esfera cargada, a los que se les aproxima otra carga.



Para evitar movimientos laterales puede suspenderse la esfera de dos hilos que se encuentran en forma de V.

Para conseguir distintas cargas, plantean repartir la carga de una esfera metálica, entre varias (siempre que sean iguales las esferas), con simplemente ponerlos en contacto, lo que permite obtener cargas de valor $Q/2$, $Q/4$, .. Conviene a este respecto hacer ver la conveniencia de recubrir las esferas con pintura metálica para facilitar el paso de cargas.

Es muy importante que los alumnos comprendan la necesidad de controlar las variables, es decir, mantener constantes las cargas de los cuerpos, para medir la dependencia de la fuerza con la distancia o mantener constante la distancia entre los cuerpos para medir la influencia de la carga en la fuerza eléctrica.

A.19. Proceder a realizar los experimentos diseñados y analizar los resultados obtenidos.

Comentarios A.19.

Dadas las dificultades que presentan estos experimentos por la facilidad con que se descargan las esferitas, se puede sustituir dicha actividad por la A.19bis, en la que los alumnos se han de enfrentar con los resultados obtenidos por otros grupos de investigación, lo que no disminuye excesivamente el valor formativo de esta investigación, en la que únicamente faltará el aspecto manipulativo.

A.19(bis) Proceder a analizar e interpretar los siguientes resultados obtenidos mediante una balanza de torsión, con el fin de contrastar las hipótesis emitidas en A.17.

a) Se electrizan dos pequeñas esferas cargadas de igual signo y se procede a medir la fuerza repulsiva entre ambas para distancias diferentes, con los siguientes resultados

r (cm)	10	20	30	40	50	60
F (u.a)	90,0	22,0	10,0	5,6	3,6	2,5

b) Se mantiene ahora fija la distancia entre las dos esferas y se varía la carga de una o ambas. El medio es el aire y los valores de las cargas están dadas en unidades arbitrarias

Q.q (u.a)	1,0	0,5	0,25	0,12	0,06
F (u.a)	90,0	45,0	22,5	11,2	5,6

Comentarios A.19(bis)

Para interpretar los resultados los alumnos deberán hacer las representaciones de la $F = f(Q.q)$ y la $F = f(1/r^2)$, a partir de los cuales podrán contrastar sus hipótesis, es decir, la fuerza que un cuerpo cargado ejerce sobre otro es proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Conviene por último hacer referencia a los trabajos de Coulomb conducentes al establecimiento de la ley que lleva su nombre, remitir a la lectura de algún texto, etc.

A.20. Exposición por el profesor de los criterios internacionales para el manejo de la ley de Coulomb de la fuerza electrostática (unidades, significado físico de la constante K, etc.,)

Comentarios A.20.

En esta actividad conviene que el profesor deje claro que el manejo de la Ley de Coulomb implica: o bien la adopción de una cantidad arbitraria de carga como unidad y calcular entonces el valor de K, o bien dar un valor arbitrario para la K, con lo que la unidad de carga resultaría derivada de las de F y r.

En el Sistema Giorgi, se introdujo una unidad arbitraria de carga, el Coulomb, aunque actualmente en el Sistema Internacional, por razones prácticas, la carga se considera una magnitud derivada de la intensidad eléctrica. La constante K resulta ser en el vacío $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

También puede comentarse que si las cargas se sitúan en otro medio dieléctrico (isótropo y homogéneo) como lo es la parafina o el agua, la fuerza se reduce, lo que obliga a plantear el carácter relativo de la constante K de Coulomb.

Vale la pena referirse a la enorme carga que representa un Culombio y del poco sentido que tiene hablar de cargas puntuales de varios Culombios.

Si se cree conveniente, también puede comentarse la opción que se adoptó en el llamado Sistema Electroestático.

Procederemos a continuación al manejo de la Ley de Coulomb y cálculo de fuerzas entre cargas.

A.21. Dos cargas $Q = 10^{-4} \text{ C}$ y $q = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ se encuentran en el vacío a 30 cm. de distancia.

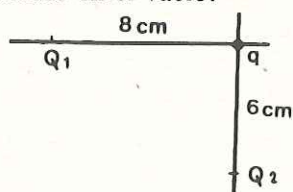
- Dibujar un esquema gráfico en donde se representa a escala la fuerza que actúa sobre cada una.
- Hallar el valor de la fuerza que actúa sobre cada una.

A.22. Tres cargas iguales están situadas en el vacío en línea recta y separadas tal y como indica la figura. Sabiendo que la fuerza eléctrica ejercida por q_A sobre q_B es de $1 \cdot 10^{-9} \text{ N}$, determinar:



- La fuerza eléctrica que ejerce q_C sobre q_B
- La fuerza resultante sobre q_B
- La fuerza resultante si se encontraran en un medio de $K = 3 \cdot 10^9 \text{ (U.I)}$

- A.23. Calcular el valor de la fuerza electrostática resultante que ejercen Q_1 y Q_2 sobre q , siendo $q = 10^{-4}\text{C}$ y $Q_1 = Q_2 = 10^{-4}\text{C}$ encontrándose en el vacío.



3. INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL CAMPO ELECTRICICO

Las interacciones entre cargas distantes -al igual que las atracciones gravitatorias de objetos alejados- plantean dificultades de interpretación que conviene abordar:

- A.24. La ley de Coulomb determina el valor de la fuerza que se ejercen dos cargas puntuales Q y q separadas una distancia r . Pero, ¿cómo tiene lugar la interacción entre cargas separadas entre sí?. Sugerir alguna idea al respecto

Comentarios A.24.

La cuestión anterior no es evidentemente fácil de contestar. Recordemos que el mismo Newton renunció a abordar la cuestión de como tenía lugar la interacción gravitatoria a distancia («Hypothesis non fungo»).

Una pequeña discusión entre los alumnos permite, sin embargo, que adquieran conciencia del problema y que el profesor comente brevemente la evolución de las ideas a este respecto. Puede hacer referencia así a la idea de «acción a distancia», aceptada sin más por algunos científicos pero que repugnaba a otros que consideraban necesaria la existencia de un soporte material para la interacción entre cargas distantes. Conviene, sin embargo, posponer este debate y abordar el problema de la interacción desde un punto de vista puramente fenomenológico. Desde este punto de vista se introdujo la idea de «campo eléctrico» para designar a aquellas zonas del espacio en el que cargas eléctricas se ven sometidas a fuerzas.

- A.25. ¿Cómo se podría detectar la presencia de un campo eléctrico en un punto dado del espacio? ¿De qué forma podría determinarse si dicho campo es débil o intenso? Introducir una definición operativa de intensidad de campo e indicar el procedimiento para su medida.

Comentarios A.25.

El procedimiento más simple de comentar si en un punto dado existe campo eléctrico es -como los mismos alumnos sugieren- colocar en dicho punto una carga testigo q y ver si está sometida o no a una fuerza; el campo será intenso si dicha fuerza es grande y débil si es pequeña. Pero como esa fuerza depende también del valor de q , debemos adoptar para la carga testigo un valor dado, pues en caso contrario, no podríamos comparar los resultados obtenidos en diferentes experimentos. Por lo tanto, definimos la intensidad del campo E en un punto como la fuerza a que está sometido la unidad de carga positiva en dicho punto, es decir

$$\vec{E} = \vec{F}/q$$

Conviene hacer notar que el valor de la carga testigo debe ser suficientemente pequeño para que no afecte apreciablemente al campo que se quiere medir.

Un error muy habitual del que conviene llamar la atención es el considerar que para que haya campo eléctrico en un punto, debe haber una carga en el mismo.

- A.26. Proponer una unidad de intensidad del campo eléctrico.

- A.27. ¿Qué significa que la intensidad del campo eléctrico en un punto sea $2 \cdot 10^{-6}\text{ N/C}$?

- A.28.(opcional) Basándose en la definición cualitativa de intensidad de campo eléctrico obtener una expresión que determine el módulo del campo creado por una carga Q en un punto situado a una distancia r .

Comentarios A.28.

A partir de la definición operativa y manejando la ley de Coulomb los alumnos llegan a la expresión correspondiente. Se debe en ese caso hacer un comentario para indicar que la validez de dicha expresión se restringe solo para campos creados por cargas puntuales.

A.29(opcional) Calcular el campo creado en un punto P, por una carga de $1 \cdot 10^{-8}$ C que se encuentra a 1,25 cm. de éste. Indicar las unidades correspondientes.

A.30. Si colocamos una carga testigo de 1 microculombio en un punto, se ve sometida a una fuerza de 5 N. ¿Cuál será el valor de la intensidad de campo? ¿Y si colocamos una carga de -2 microculombios?.

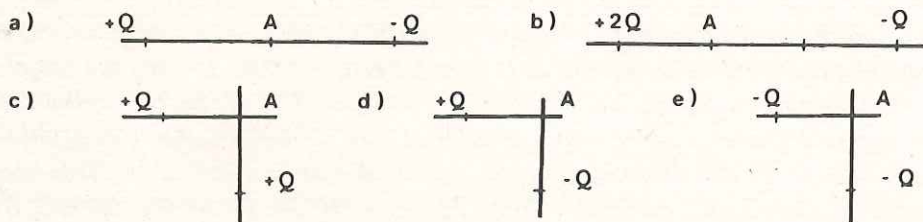
Comentarios A.30.

Bastantes alumnos incurrir en error al realizar esta actividad y dan distintos valores para la intensidad de campo. Ello permite clarificar que sus valores en un punto no dependen de la carga utilizada como testigo. Para profundizar en la comprensión de esta magnitud y, concretamente, poner de relieve su carácter vectorial conviene plantear alguna otra actividad como la siguiente.

A.31. Dibujar en el punto A, el vector fuerza a que estaría sometida una carga de $3 \mu\text{C}$. Idem una carga de $-2 \mu\text{C}$.



A.32. Dibujar a escala los vectores \vec{E}_1 , \vec{E}_2 , $\vec{E}_1 + \vec{E}_2$ en el punto A, para los siguientes casos. Indicando en cada uno como se hallaría el módulo de E, (siendo $|Q_1| = |Q_2|$)



Terminaremos este apartado introduciendo una representación gráfica de los campos eléctricos. La base de esta representación es muy simple, basta indicar la dirección de la fuerza a que se ve sometida una carga testigo cuando la colocamos en los diferentes puntos del campo.

A.33. Considerar las direcciones de las fuerzas que actuarán sobre una carga testigo positiva al colocarla en distintos puntos alrededor de una carga puntual positiva creadora del campo. Trazar líneas que indiquen las direcciones de dichas fuerzas (denominadas por ello «líneas de fuerza») hasta construir un mapa que represente gráficamente al campo.

A.34. Dibujar las líneas de fuerza del campo creado por:

- una carga puntual negativa.
- Dos cargas puntuales positivas próximas.
- Dos placas metálicas plano-paralelas cargadas con signo contrario.

4. ESTUDIO ENERGETICO DE LA INTERACCION ELECTRICA

Vamos aquí a ocuparnos brevemente del aspecto energético de las interacciones eléctricas, es decir, del trabajo que se realiza cuando se desplazan cargas.

A.35. Describir energéticamente, es decir, a través de las magnitudes trabajo y energía, el siguiente proceso: Aproximamos a una carga fija Q otra de igual signo q hasta una cierta distancia y a continuación la dejamos libre.

Comentarios A.35.

La discusión de este y otros ejemplos permite dejar claro que cuando se aproximan dos cargas de igual signo o se alejan dos de signo contrario el trabajo de las fuerzas eléctricas será negativo, de forma que si las cargas estaban inicialmente en reposo se precisará un trabajo exterior para lograr el desplazamiento.

Por otra parte, el sistema constituido por ambas cargas adquiere energía potencial eléctrica como lo

prueba el hecho de que al dejarlas libres, las cargas se ponen en movimiento -alejándose si son de igual signo o aproximándose en caso contrario- adquiriendo energía cinética a expensas de la potencial. Es posible así rehacer el razonamiento que nos llevó en el capítulo 7 a establecer en general, la expresión

$$W_{int} = \Delta E_p \quad \text{y} \quad W_{ext} = \Delta E_p + \Delta E_c$$

donde ahora W_{int} es el trabajo de las fuerzas eléctricas conservativas y E_p es la variación de energía potencial eléctrica.

En definitiva los desplazamientos de cargas eléctricas pueden venir caracterizadas, energéticamente, por la variación de la energía potencial eléctrica resultante

$$\Delta E_p = - W_{int}$$

A.36. Tomando como nivel cero de energía potencial eléctrica el correspondiente a un alejamiento «infinito» de las cargas (posición en la que las fuerzas que se ejercen se hacen nulas). Razonar cual será el signo de la energía potencial en cualquier posición para los siguientes casos:

- dos cargas positivas a una distancia determinada
- una carga positiva y una negativa
- dos negativas

Comentarios A.36.

Aunque en propiedad solo podemos hablar de variación de energía, es posible hablar de la energía potencial eléctrica de un sistema de cargas si elegimos -arbitrariamente- un nivel cero de la misma. Se suele recurrir así a asignar como nivel cero de la energía potencial de dos cargas a la situación de alejamiento «infinito» de las mismas. Si el sistema evoluciona espontáneamente (partiendo de una situación de reposo), el trabajo interno realizado por el campo implicará una disminución de la energía potencial y teniendo en cuenta que la energía potencial en el «infinito» es nula, podemos establecer el signo de esta magnitud.

A.37. Introducir una magnitud que juegue desde el punto de vista energético, el mismo papel que la intensidad del campo, con respecto a las fuerzas que, recordemos nos daba el valor de la fuerza por unidad de carga positiva, lo que permitía obtener la fuerza sobre cualquier carga q en un punto dado sin más que multiplicar E por q :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Comentarios A.37.

Así planteada, esta actividad conduce a los alumnos a ver el interés de una magnitud que proporciona la variación de energía potencial por unidad de carga positiva E_p/q .

De este modo los alumnos pueden expresar

$$\Delta E_p = q \cdot \Delta V = - W_{int}$$

Conviene insistir en que la importancia de la nueva magnitud -al igual que la intensidad de campo- estriba en que proporciona valores válidos para cualquier carga, o dicho de otro manera que conocida la diferencia de potencial V se puede obtener ΔE_p para cualquier carga.

Por otra parte se puede asociar el criterio de energía potencial nula (alejamiento «infinito» de las cargas) al de un valor nulo del potencial, con lo que se puede hablar de valores de potencial y no sólo de variaciones de potencial. Estos son, sin embargo, conceptos bastante complejos y en los que es preciso detenerse para lograr una adquisición significativa.

A.38. ¿Cómo será el signo del potencial eléctrico en cualquier punto del campo creado por una carga positiva? ¿Y por una carga negativa?

A.39. ¿Hacia dónde se moverán las cargas positivas dejadas inicialmente en reposo: hacia potenciales crecientes o decrecientes? ¿Y las negativas?

A.40. Definir la unidad (en el S.I.) de la nueva magnitud conocida como potencial

Comentarios A.28. A.39. y A.40.

Se trata de actividades para manejar el concepto de potencial del campo eléctrico en un punto. Una forma posible de abordar la A.38. es reflexionando sobre el hecho de que el signo del potencial en un punto coincidirá con el que tendrá la energía potencial si en ese punto se colocase la unidad de carga positiva. De este modo si los alumnos comprendieron bien la A.36., no tienen ninguna dificultad en entender ahora, por ejemplo, que si la carga creadora del campo es positiva el potencial tendrá que ser también positivo.

En la A.39. se trata de aplicar el razonamiento anterior. Es una actividad importante para justificar en el tema siguiente el sentido en que se moverán los electrones por un hilo conductor.

A.41 (opcional) Interpretar el significado de:

- a) El potencial en un punto es 5 V.
- b) El potencial en un punto es -100 V.
- c) La diferencia de potencial entre dos punto A y B es de 220 V.

A.42 (opcional) Determinar el trabajo realizado sobre una carga de $5 \mu\text{C}$ al desplazarla de un punto donde el potencial V_1 es igual a 20 V. a otro de V_2 igual a 10 V. Interpreta el signo.

5. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.43. Exponer las ideas que poseáis de cómo tienen lugar las descargas eléctricas o rayos en la atmósfera. Consultar posteriormente algún texto adecuado y explicar el funcionamiento del pararrayos.

A.44. Establecer las semejanzas y diferencias entre la interacción eléctrica y gravitatoria. En particular predecir cualitativamente la relación entre dichas fuerzas en un átomo de hidrógeno, sabiendo que esta formado por un protón y un electrón. Buscar en cualquier texto, los parámetros característicos que hagan falta para realizar los cálculos y constatar así la predicción.

A.45. ¿En qué dirección deberemos movernos en un campo eléctrico creado por una carga puntual para que el potencial no varíe?

A.46. Establecer un «mapa conceptual» con los conceptos de carga, fuerza eléctrica, intensidad del campo eléctrico, trabajo eléctrico, energía potencial eléctrica y potencial eléctrico que haga ver sus relaciones.

A.47. Enumerar los principios de conservación vistos hasta este momento del curso.

A.48. Utilizando algunos textos de H^a de las Ciencias escribir un pequeño ensayo sobre la importancia adquirida por los estudios de electricidad en el siglo XVIII.

CORRIENTE ELECTRICA

Introducción

Hasta aquí nos hemos ocupado de las acciones entre cargas aisladas y en reposo (electrostática). Pero gran parte de los ejemplos contemplados en la primera actividad con la que iniciamos el estudio de los fenómenos eléctricos en el capítulo anterior, hacían referencia al desplazamiento de cargas. Dedicaremos pues este capítulo al estudio de la corriente eléctrica en su forma más elemental (movimiento continuo de cargas por un conductor metálico).

A.1. Indicar posibles problemas que será necesario abordar para estudiar la corriente eléctrica.

Comentarios A.1

Los problemas planteados por los alumnos giran en torno a como producir la corriente, cómo medirla, de qué depende o cómo variarla, así como de sus aplicaciones.

Se trata de una actividad interesante puesto que da a los alumnos la iniciativa de plantear los problemas a estudiar.

Puede servirnos para fijar el hilo conductor del tema.

De acuerdo con los problemas planteados, desarrollaremos el tema según el siguiente esquema:

1. Producción y medida de la corriente eléctrica
 - 1.1. Cómo conseguir una corriente eléctrica.
 - 1.2. Medida de la intensidad de corriente
2. Factores de que depende la intensidad de corriente. Ley de Ohm
3. Estudio de la resistencia que presenta un conductor al paso de la corriente.
 - 3.1. Concepto de resistencia eléctrica. Unidades
 - 3.2. Factores de que depende la resistencia de un conductor
 - 3.3. Asociación de resistencias
4. Estudio de los efectos de la corriente eléctrica
 - 4.1. Efectos de la corriente eléctrica
 - 4.2. Cálculo del trabajo eléctrico
 - 4.3. Estudio del efecto Joule.
5. Actividades complementarias

1. PRODUCCION Y MEDIDA DE LA CORRIENTE ELECTRICA

1.1. Cómo conseguir una corriente eléctrica.

A.2. Describir de forma cualitativa en qué consiste la corriente eléctrica, cómo producirse, cómo se mueven las cargas por el conductor, ...

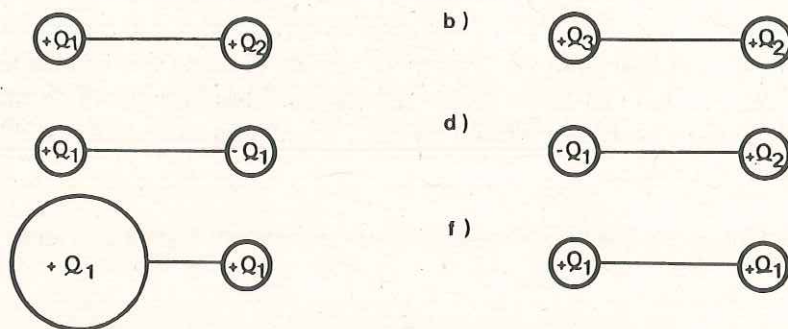
Comentarios A.2

Con esta actividad se pretende, en primer lugar conectar con la visión que poseen los alumnos sobre la corriente eléctrica. Esta visión es, por supuesto, muy poco elaborada. En cualquier caso, lo visto en el

tema anterior permite dejar claro la necesidad de un campo eléctrico en el conductor, o dicho de otro modo, de una diferencia de potencial entre sus extremos. Aparecen también algunas preconcepciones típicas -cuyo origen es fácil de comprender- como la de que «los electrones se desplazan a la velocidad de la luz. Conviene pues, que el profesor ayude a concluir que se trata de un movimiento relativamente difícil -y por lo tanto- dado que las cargas móviles han de desplazarse entre cargas de signo contrario fijas (¡el hilo conductor es neutro!). Ello explica además -cosa que habitualmente los textos de este nivel no hacen- por qué las cargas no se aceleran indefinidamente aumentando continuamente su velocidad, sino que se llega a una velocidad límite. De esta forma los alumnos podrán después comprender mejor la idea de resistencia eléctrica.

Puede ser interesante también aclarar el origen histórico del sentido dado a la corriente en una época en que no se había aún alcanzado la comprensión actual de la estructura de la materia y ni siquiera se conocía la existencia de los electrones.

A.3. Indicar en que casos, al unir las esferas con un conductor, circulará corriente, así como el sentido en que se moverán los electrones. Supondremos que $|Q_1| > |Q_2|$ y que $|Q_3| = 0$
 ¿Hasta cuándo circulará la carga por el hilo conductor?



Comentarios A.3

Puede permitirnos mostrar por una parte la existencia de una posible idea errónea bastante extendida entre muchos alumnos, consistente en suponer que en los cuerpos cargados positivamente no hay electrones.

Esta actividad puede ser abordada, por supuesto, haciendo uso del concepto de potencial (mayor allí donde la densidad de cargas positivas sea más alta) pero conviene que los alumnos recurran a explicaciones lo más físicas e intuitivas posibles haciendo uso de la repulsión que los electrones entre sí y de la atracción entre los mismos y las cargas positivas. Ello les permite ver que en todos los casos circulará la corriente hasta que se igualen los potenciales.

Debe evitarse el peligro de identificar la carga con el potencial de la esfera y hacer pensar que igualarse los potenciales implica que se igualen la carga en ambas esferas.

Como curiosidad, puede comentarse que se tarda del orden de 10-15 segundos en conseguirse la situación de equilibrio.

A.4. Como hemos visto en las cuestiones anteriores la corriente cesará muy rápidamente, en cuanto se igualen en los extremos. ¿Cómo podría conseguirse que la corriente siga circulando por el conductor?

Comentarios A.4

Sin entrar aquí todavía en la discusión sobre los generadores, se ha de dejar claro que se precisa de algún dispositivo que realice trabajo sobre el sistema para separar y acumular cargas netas. Conviene recordar que el frotamiento de objetos que los alumnos practicaron reiteradamente en el capítulo anterior era una forma elemental de «generador».

Puede introducirse el concepto de circuito y considerar el más elemental, el formado por un generador y un hilo conductor.

1.2. Medida de la intensidad de corriente.

Hemos visto la forma de conseguir que circule corriente por un conductor. Conviene dar un planteamiento cuantitativo y para ello introducir una magnitud que mida dicha corriente.

A.5. Introducir una magnitud adecuada para medir la corriente que atraviesa un conductor. Dar su definición operativa y definir la unidad correspondiente en el S.I.

Comentarios A.5

La idea de que la corriente será intensa si las cargas «avanzan deprisa», o dicho de otro modo, si «pasan muchas cargas por unidad de tiempo» aparece con facilidad y ello conduce a definiciones operativas del tipo $I = q/t$ que el profesor puede ayudar a precisar. Los alumnos no siempre tienen claro que q ha de ser la carga que atraviesa una sección dada del conductor y, por otra parte ha de quedar claro que así definida I , tan solo proporciona un valor medio (a menos que se mantenga constante que es la situación más simple que estamos estudiando).

Conviene también que el profesor aclare que la medida de la intensidad no se hace viendo cuantas cargas atraviesan la sección -como la definición operativa pudiera hacer pensar pero de difícil realización- sino recurriendo a alguno de los efectos de la corriente. Esto da ya una idea de la complejidad del estudio y de hasta que punto el tratamiento que estamos dando lo simplifica al no entrar en estos problemas y suponer sin más que disponemos de instrumentos de medida y aunque, por supuesto, más adelante se abordarán dichos efectos y se podrá dar una idea del funcionamiento de los amperímetros, es importante dejar claro que el progreso científico -en este y en la mayoría de los casos- no es un proceso tan lineal ni tan simple como el estudio que estamos realizando pudiera hacer pensar.

Como ya hemos indicado en la introducción, el desarrollo de la asignatura mediante los programas-guía no debe hacer pensar a los alumnos que su trabajo se puede comparar con el de científicos «de frontera» sino con el de aquellos que cuentan con la ayuda de expertos, en los temas que se abordan y pueden avanzar muy rápidamente.

A.6. Interpreta el significado de $I = 5 \text{ A}$.

A.7. Calcular la carga eléctrica que atraviesa un conductor en dos horas y media, si la intensidad que está usando es de 250 mA.

2. FACTORES DE QUE DEPENDE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE

La posibilidad de controlar la intensidad de corriente que circula por un conductor (problema básico en cualquier aplicación de la corriente) exige que conozcamos cuáles son los factores que influyen en su valor y en qué forma lo hacen.

A.8. Emitir una hipótesis razonada acerca de los factores que pueden influir en la intensidad de corriente. Precisar las hipótesis indicando la forma de la dependencia.

Comentarios A.8

Tras la discusión realizada en A.1 sobre el movimiento de las cargas en el conductor los alumnos pueden conjeturar el papel no solo de la diferencia de potencial sino también de las características del conductor, prediciendo correctamente la influencia de la sección y longitud.

A.9. Diseñar un montaje experimental para establecer la relación que deben guardar la intensidad con los factores de que depende. Comenzar considerando la influencia del voltaje.

A.10. Realiza las experiencias e interpreta los resultados.

Comentarios A.9 y A.10

El diseño que se solicita es, en primer lugar, ocasión para que los alumnos practiquen el control de variables. Y una vez más, hemos de insistir en la necesidad de que los alumnos se enfrenten a situaciones que exijan dicho control de variables para que ello les llegue a ser connatural. En caso contrario seguirán apareciendo resultados que indiquen que porcentajes muy elevados de alumnos -incluso universitarios- no son capaces de separar variables o, en general, «no han alcanzado la etapa de las operaciones formales».

Para el estudio de la relación $I = f(V)$ los alumnos proponen como forma de variar el voltaje la conexión de un número creciente de pilas entre los extremos de un conductor y amperímetro. Es un montaje que puede

aceptarse sólo como primera aproximación pero que da resultados aceptables (¡si las pilas son nuevas!) que, por supuesto, han de completarse con la referencia por el profesor -tras la realización de la experiencia- a toda la evidencia experimental acumulada.

Se puede ahora también explicar brevemente cómo un amperímetro puede transformarse en voltímetro, basándose en la relación entre ambas magnitudes.

Por último, se puede hacer referencia a que el paso de corriente supone siempre vencer una cierta resistencia, incluso en el seno del generador (aunque en algunas pilas pueda ser muy pequeña). Se pueden así aclarar las limitaciones del montaje experimental (sólo válido si las resistencias internas de las pilas son prácticamente nulas)

3. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA QUE PRESENTA UN CONDUCTOR AL PASO DE LA CORRIENTE.

3.1. Concepto de resistencia eléctrica. Unidades.

A.11. La relación entre la intensidad que atraviesa un conductor dado y la diferencia de potencial $V_2 - V_1$ (que representaremos por V) existente entre sus extremos, puede expresarse de acuerdo con los resultados obtenidos como:

$$V/I = \text{cte} \text{ o } I/V = \text{cte}'$$

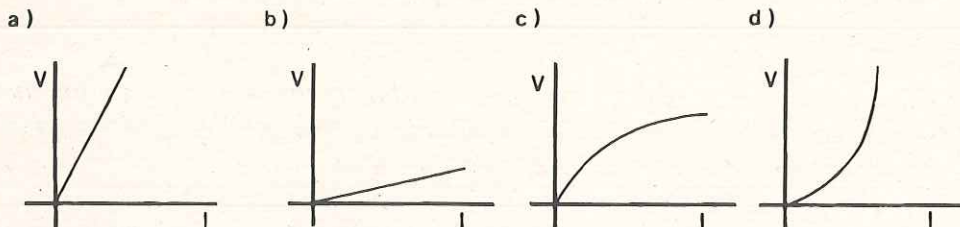
Interpreta el significado de dichas constantes.

Comentarios A.11

Aunque habitualmente la relación $I = f(V)$ se expresa en la forma $V/I = \text{cte}$ (con un significado físico de la constante que los alumnos asocian a la dificultad o resistencia que el conductor presenta al paso de la corriente) es conveniente también presentar dicha relación en la forma $I/V = \text{cte}'$, con un significado de la constante, lógicamente opuesto. Ello permite insistir en el significado físico de las constantes que aparecen en las relaciones entre variables y evitar lecturas puramente operativistas. En este caso, además, es importante seguir profundizando en el significado de dicha «constante» e incluso de señalar los límites de validez de la expresión $V/I = R$ haciendo referencia a los conductores óhmicos y no óhmicos (Ver actividad A.13)

A.12. Introducir la unidad internacional de resistencia eléctrica. Interpretar que quiere decir que un hilo conductor tenga una resistencia de 470 ohmios.

A.13. ¿Qué puede decirse de la resistencia de los tres conductores a; b y c correspondientes a las gráficas adjuntas?.



A.14. Calcular la resistencia de un conductor, sabiendo que para hacer circular por él una corriente de 0,5 A. es necesario colocar entre sus extremos una diferencia de potencial de 50 V.

A.15. ¿Qué intensidad de corriente circulará a través de un conductor de resistencia 20 ohmios al conectarla a 15 V. de diferencia de potencial?.

3.2. Factores de que depende la resistencia de un conductor.

Hemos establecido que V/I tiene el significado físico de una resistencia. Esta resistencia incluye todas las características del conductor ya enumeradas, a título de hipótesis en la A.9. Vamos a estudiar que tipo de dependencia presenta la resistencia con dichas características.

A.16. Prosigamos el estudio de los factores de que depende la intensidad de la corriente y que hemos englobado en la magnitud resistencia. Recordar o precisar cuales son esos factores y la forma en que cabe esperar influyan en dicha resistencia.

Comentarios A.16

Digamos simplemente que los alumnos no tienen dificultad en conjeturar que $R \propto l/S$, o dicho de otra forma que $R = \rho l/S$, donde l y S representan la longitud y sección del conductor y ρ sería una constante característica de cada sustancia.

A.17. Concebir un montaje experimental que permita verificar las hipótesis emitidas.

Comentarios A.17

La medida de la resistencia no presenta inconvenientes para los alumnos, pues como consecuencia de las actividades anteriores, proponen medir la diferencia de potencial y la intensidad para calcularla aplicando la ley de Ohm. Para hacer variar la longitud del conductor no hay problema, sin embargo emplear secciones diferentes, presenta dificultades pues en los laboratorios no se suelen poseer cables eléctricos de diferentes secciones. Para resolverlo se puede proponer utilizar varios cables (dos, tres, cuatro, ...) de igual longitud. Se puede comentar que dado que la resistencia interna del generador es muy pequeña comparada con la del circuito exterior y la ddp. entre los extremos del conductor será prácticamente constante, por lo que se puede utilizar la inversa de la intensidad como una medida de la resistencia. Así se evita utilizar el voltímetro.

A.18. Realizar los experimentos. Analizar e interpretar los resultados obtenidos.

Comentarios A.18

Los alumnos representan $V/I = f(\text{longitud})$ y $V/I = f(1/S)$, obteniendo dos rectas que confirman la relación propuesta entre R y sus dimensiones. (Caso de poder tomar V como constante, puede representarse $1/I$ como expresión de la resistencia).

A.19. Explica el significado de la cte ρ de la ecuación $R = \rho l/S$ denominada resistividad. Indicar cuales deben ser sus unidades en el sistema internacional.

Comentarios A.19

Se llega a la conclusión de que ρ es una característica del material y proporciona una medida de la menor o mayor dificultad que opone al movimiento de los electrones. Más concretamente representa la resistencia por unidad de longitud y sección de un material dado al paso de la corriente.

Si se dispone de tiempo, es conveniente que los alumnos se planteen repetir la experiencia con diferentes materiales conductores. También puede plantearse de forma que cada grupo trabaje con cables de materiales diferentes y al final en la puesta en común contrasten los resultados.

A.20. Calcular la resistencia de un hilo de constatan ($\rho = 5 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$) de 5 m. de longitud y un diámetro de 0,5 mm.

A.21. ¿Cuál debe ser la longitud que habrá de tener un conductor para conseguir una resistencia determinada?

A.22. En muchos circuitos eléctricos se requieren resistencias cuyo valor pueda ser modificado a voluntad. ¿Cómo se podría construir una resistencia variable?

Comentarios A.22

Se llega a la conclusión de que, entre los factores de que depende la resistencia, el que se puede modificar más fácilmente es la longitud, por lo que se proponen dispositivos que permiten variar su valor. Es conveniente proceder a la construcción de alguno de dichos dispositivos y al manejo de aquellos de que se disponga en el laboratorio.

3.3. Asociación de resistencias.

En un circuito generalmente existen más de una resistencia, lo que plantea el problema de conocer el valor de la resistencia equivalente al conjunto de las existentes.

A.23. Dibujar las distintas formas posibles de conectar tres resistencias idénticas.

A.24. Se denominan conductores en serie aquellos por los que circula la misma corriente y en paralelo o derivación aquellos que están conectados a dos puntos del circuito entre los que hay la misma diferencia de potencial. Dibujar un circuito elemental con dos resistencias en serie y otro con dos en paralelo.

Explicad en cada caso que relaciones se cumplirán entre las intensidades que circulan por cada conductor y las diferencias de potencial entre sus extremos.

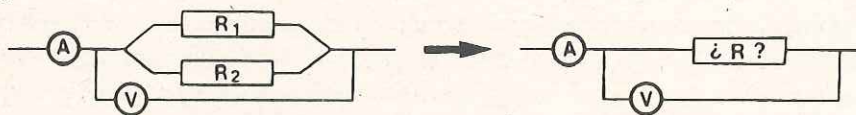
Comentarios A.24

Los alumnos no tienen dificultad en establecer que en el caso de la asociación en serie es evidente que la intensidad que atraviesa la 1ª resistencia es la misma que atraviesa la 2ª, mientras que la diferencia de potencial total será la suma de las diferencias de potencial correspondiente a cada resistencia, pues el trabajo necesario para llevar la unidad de carga de un extremo a otro del conductor es igual a la suma de los trabajos necesarios para cada uno de ellos. Igualmente señalan que en el montaje en paralelo las intensidades se repartirán entre los dos mientras que la diferencia de potencial aplicado entre los extremos de estos es el mismo.

Cualquier conjunto de resistencias puede reducirse, en general, a una combinación de asociaciones en serie y en paralelo. Abordaremos por ello, a continuación, la obtención de la resistencia equivalente a varias resistencias en serie o en paralelo.

A.25. ¿Cuál será la resistencia equivalente de dos resistencias conectadas en paralelo o derivación? Se trata de encontrar el valor de la resistencia R que sustituyendo a las dos R₁ y R₂ haga el mismo efecto en el circuito es decir, con la misma diferencia de potencial V circule la misma intensidad I como indica el esquema adjunto.

Resolver el problema como una pequeña investigación emitiendo hipótesis que predigan de qué dependerá (y cómo) la resistencia equivalente R. Concluir una estrategia de resolución y analizar los resultados.



Comentarios A.25

El alumno debe plantearse el problema tratando de buscar una resistencia que pueda sustituir a las dos, con los mismos efectos, es decir provocando una misma caída de potencial entre sus extremos y dejando circular una corriente de la misma intensidad.

Debe comenzar analizando el problema de una forma cualitativa y teniendo en cuenta que el hecho de que la corriente pueda bifurcarse, facilita que disminuya la resistencia equivalente, esto permite aceptar como hipótesis de trabajo que la resistencia equivalente R, dependerá de R₁ y R₂, de tal modo que R < R₁ y R < R₂.

Más todavía, si una de las resistencias se hace «infinita» y no deja pasar corriente el circuito quedará reducido a la otra resistencia. (Toda la corriente tiene que pasar por ella). En este caso si

$$\begin{aligned} & R_1 \rightarrow \infty \text{ entonces } R \rightarrow R_2 \\ \text{o si } & R_2 \rightarrow \infty \text{ entonces } R \rightarrow R_1 \end{aligned}$$

Por contra, si una de las resistencias es nula (dejando pasar sin dificultad la corriente) toda la corriente pasará por ella y entonces R 0. Es decir, si

$$\begin{aligned} & R_1 \rightarrow 0 \text{ entonces } R \rightarrow 0 \\ \text{o si } & R_2 \rightarrow 0 \text{ entonces } R \rightarrow 0 \end{aligned}$$

sea cual sea el valor de la otra resistencia.

La estrategia de resolución deberá basarse en aplicar la ley de Ohm a los dos circuitos, teniendo en cuenta que la R equivalente no debe modificar los valores de V ni de I .

Una vez obtenida la expresión $R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ debe aprovecharse para interpretar dicha expresión y confirmar las hipótesis de partida

A.26. Obtener la resistencia equivalente de una asociación de dos resistencias conectadas en serie.

Comentarios A.26

Esta actividad debe plantearse de modo análogo a la anterior, tratando de buscar una resistencia equivalente a las dos conectadas en serie, que provoque la misma caída de potencial entre sus extremos al circular una corriente de la misma intensidad.

Debemos analizar el problema teniendo en cuenta el hecho de que la corriente que atraviesa la asociación en serie, lógicamente, es la misma que atraviesa cada una de las resistencias.

Sin duda los alumnos reconocen como hipótesis de trabajo que la resistencia equivalente que buscamos debe ser función de la R_1 y R_2 , de tal manera que $R > R_1$ y $R > R_2$.

Se puede profundizar un poco más, analizando las consecuencias que tendría si una de las resistencias fuera muy grande («infinita»), o lo contrario, que una de ellas fuera muy pequeña («nula»), es decir, si

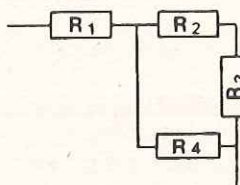
$$\begin{array}{l} R_1 \rightarrow \infty \text{ entonces } R \rightarrow R_1 \\ \text{o bien, si } R_2 \rightarrow \infty \text{ entonces } R \rightarrow R_2 \\ \text{Por contra, si } R_1 \rightarrow 0 \text{ entonces } R \rightarrow R_2 \\ \text{o bien, si } R_2 \rightarrow 0 \text{ entonces } R \rightarrow R_1 \end{array}$$

A partir de aquí pueden fijar con facilidad la estrategia a seguir, aplicando la ley de Ohm y teniendo en cuenta que la suma de las caídas de potencial de cada resistencia debe ser igual a la que tendría lugar en la resistencia equivalente.

La expresión obtenida $R = R_1 + R_2$ (que muchos alumnos, ya en la emisión de hipótesis llegan a concretar) debe aplicarse a las situaciones límite antes mencionadas para llegar a verificar la hipótesis de partida.

A.27. Indicar en el esquema adjunto:

- ¿Qué resistencias están en serie entre sí?
- ¿Cuáles están en paralelo entre sí?

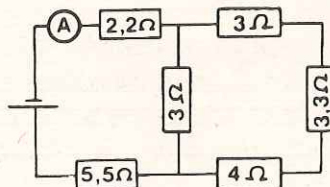


Comentarios A.27

Esta, y actividades similares permiten salir al paso de «fijaciones» geométricas que llevan, pues, a afirmar que R_1 y R_2 están en serie.

A.28(opcional) Dada la siguiente asociación y sabiendo que la d.d.p. entre los extremos del generador vale 50 V. Determinar:

- La resistencia equivalente
- La intensidad que marca el amperímetro



4. ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA

4.1. Efectos de la corriente eléctrica

Vamos a referirnos en este apartado a los efectos de la corriente eléctrica que revelen su capacidad para transformar la materia, es decir, para realizar trabajo.

A.29. Elaborar una relación de los efectos de la corriente eléctrica que conozcáis, indicando sus aplicaciones.

Comentarios A.29

La enumeración de los alumnos puede reformularse por el profesor haciendo referencia a lo que tradicionalmente se denominan efecto «magnético» (electroimanes, ..), «mecánico» (motores eléctricos, ..), «químico» (electrólisis, revestimiento de superficies metálicas, ..) y «térmico o calorífico» (estufas, hornos eléctricos, iluminación, ..) también conocido como efecto Joule (el único que se estudia con algún detenimiento en este capítulo).

4.2. Cálculo del trabajo eléctrico (opcional)

Todos los efectos considerados revelan la capacidad de la corriente para transformar la materia, para realizar trabajo. Un tratamiento cuantitativo exige ahora el cálculo del trabajo que puede realizar una corriente.

A.30. A partir de la definición de diferencia de potencial deducir la expresión del trabajo eléctrico realizado por una corriente al circular a través de un conductor entre cuyos extremos existe una diferencia de potencial V .

Comentarios A.30

La obtención de la expresión $W = V I t$ a partir de $W = -q \Delta V$ aunque sencilla exige una cuidadosa atención al signo de las cargas que se desplazan y de ΔV . (Aunque puede encontrarse que tanto si las cargas que se desplazan son las negativas como si fueran las positivas el trabajo eléctrico resulta $V I t$, donde V representa el valor absoluto de la diferencia de potencial).

Por otra parte, los alumnos no tienen dificultad en obtener las expresiones equivalentes $P R t$ y $V^2 t / R$. Por el contrario, es necesario llamar la atención sobre el carácter particular de ambas expresiones (solo aplicables a conductores óhmicos y no por ejemplo, cuando se intercala un motor, en cuyo caso sólo podemos aplicar $V I t$)

A.31. Calcular el trabajo realizado por una corriente eléctrica en 5 minutos, al atravesar un conductor, sabiendo que circula una intensidad constante de 0,45 A. al tener entre sus extremos una diferencia de potencial de 12 V.

4.3. Estudio del efecto Joule

De entre los efectos de la corriente que han sido señalados nos limitaremos a estudiar aquí el efecto térmico o efecto Joule que se produce siempre que la corriente circula por un conductor.

A.32. Dar una explicación de la liberación de calor que se produce al circular la corriente por un conductor. Señalar así mismo, qué cabría hacer para aumentar dicho efecto para su utilización (estufas, hornos, bombillas, ..) y también para reducirlo (transporte de corriente a grandes distancias, motores, ..).

Comentarios A.32

La discusión de los alumnos conduce sin dificultad a la interpretación del efecto Joule por el choque de los electrones móviles con los restos positivos que pasan así a vibrar, etc.

Es interesante entonces detenerse en considerar en que condiciones este efecto aumenta o puede reducirse, remitiéndose a situaciones conocidas (sección, longitud, naturaleza del material, ..).

A.33. (opcional) Diseñar una experiencia que pueda medir el efecto térmico desarrollado por una corriente eléctrica y permita calcular el equivalente entre el trabajo eléctrico y el calor liberado.

Comentarios A.33

Evidentemente, bastará con introducir un hilo cuya resistencia sea de valor conocido, convenientemente aislada, en el interior de un calorímetro con una cierta cantidad de agua. Podemos conocer las variaciones que se producen en la temperatura del agua, gracias a un termómetro. Basta con aplicar los conocimientos desarrollados en actividades anteriores y los cálculos calorimétricos, para encontrar el equivalente entre el trabajo eléctrico y el calor desarrollado.

Si por razones de tiempo o materiales no es posible realizar esta actividad, como opción podemos plantear la actividad siguiente.

- A.34.(opcional) Dentro de un calorímetro con 200 cm^3 de agua a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ colocamos una resistencia, por la que hacemos pasar una corriente eléctrica durante 3 min. gracias a una diferencia de potencial constante de 12 V. entre sus extremos. Sabiendo que el agua alcanza la temperatura de $16,22 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcular el valor de la resistencia.
- A.35.(opcional) Calcular el tiempo en el que un calentador de agua alcanza una temperatura deseada.
- A.36.(opcional) Deducir la potencia consumida por un aparato eléctrico a partir del trabajo eléctrico desarrollado.
- A.37.(opcional) Interpreta el significado del rótulo de una bombilla «20 vatios y 12 voltios». Determina:
- Cuál es su resistencia y la intensidad que circula por ella.
 - Si se conecta a una batería de 6 V., qué potencia es la que consume.

5. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.38. Realizar montajes de circuitos eléctricos elementales, utilizando pilas, lámparas eléctricas, interruptores, reostatos, etc.
Al mismo tiempo, se elaborará el esquema correspondiente a partir de la observación del montaje.
- A.39. Construir un montaje que permita la conexión e interrupción de un circuito eléctrico elemental mediante dos interruptores independientes.

EL MAGNETISMO Y LA SINTESIS ELECTROMAGNETICA

El magnetismo es un fenómeno conocido por el hombre desde tiempos remotos. En China, antes del siglo I de nuestra era, se conocía la existencia de unos minerales a los que denominaron *pedras amantes* por su propiedad de atraer al hierro. También los antiguos griegos conocían estos minerales a los que dieron el nombre de *pedras de Hércules*. De este modo, a lo largo de los siglos, se fueron acumulando observaciones sobre los imanes, bastante de las cuales forman parte ya de la experiencia cotidiana.

Sin embargo, el estudio sistemático del magnetismo, su desarrollo como ciencia, es bastante reciente: su inicio podemos asociarlo al nombre de Gilbert (1544 - 1603), al que ya hicimos referencia en el capítulo anterior, y cuyo libro «De Magnete» recoge un detallado estudio fenomenológico de los imanes.

Siguiendo, en cierta medida, el desarrollo histórico, iniciaremos el estudio del magnetismo centrándonos en su fenomenología. Veremos así, cómo la profundización en dicho estudio planteó problemas que transformaron el magnetismo de rama desconexa de la Física en elemento esencial de una visión unitaria de la materia. Se produjo así un avance tan espectacular y fecundo y se construyó un cuerpo tan coherente de conocimientos que a fines del siglo XIX se llegó a pensar - y a afirmar - que la Física era un edificio conceptual prácticamente acabado.

1. FENOMENOLOGIA DEL MAGNETISMO

Como ya hemos indicado en la introducción, a lo largo de los siglos se han ido acumulando ideas y observaciones sobre los imanes, bastante de las cuales forman parte de la experiencia cotidiana. Comenzaremos, pues, por sacar a la luz dichas ideas.

A.1. Exponer detenida y ordenadamente las ideas que se posean acerca del comportamiento y propiedades de los imanes. Señalar para ello, en primer lugar, cuáles son las cuestiones que se intenta responder.

A.2. Planificar un estudio experimental cualitativo destinado a contrastar y profundizar las ideas expuestas sobre la fenomenología del magnetismo natural.

A.3. Realizar los experimentos concebidos.

Comentarios A.1, A.2 y A.3

Como es lógico, los alumnos se plantean cuestiones como las siguientes:

- *qué sustancias actúan como imanes, cuáles (y cómo) pueden imanarse,*
- *sobre qué sustancias se ejercen las acciones magnéticas y cómo es dicha acción (dirección, intensidad, etc.),*
- *cómo son las acciones entre los mismos imanes,*
- *cómo se orienta un imán que puede girar libremente, ...*

Las ideas que los alumnos exponen acerca de estas cuestiones, es decir, acerca del comportamiento de los imanes, son las previsibles fruto de experiencias ordinarias y de algunos conocimientos escolares previos. En general son presentadas de forma incompleta en cada grupo, pero el conjunto de ideas expuestas por la clase da una buena imagen del conocimiento ordinario acerca de los imanes.

Para el estudio experimental que conciben los alumnos, precisan material muy simple (dos imanes «potentes», polvo o limaduras de diversas sustancias, una aguja imanada que pueda girar libremente, ..).

La realización de estas experiencias les permite ampliar las ideas expuestas inicialmente, introduciendo nuevas observaciones (p. e., las líneas trazadas por las limaduras de hierro entre ambos polos, etc). El profesor puede ahora, completar la presentación de los resultados de los alumnos con informaciones que refuercen, completen o, en algunos aspectos, corrijan lo expuesto por ellos:

Así, si bien es cierto que, como señalan los alumnos, los imanes ejercen una clara acción atractiva sólo sobre hierro y acero, el profesor ha de indicar que esa atracción se presenta también, con menos intensidad, con otros metales como el níquel o el cobalto, y que, si el imán es suficientemente potente, todas las sustancias sufren el efecto de la presencia de un imán, aunque la acción de los imanes sobre la mayoría de las sustancias suele ser repulsiva y muy débil.

Del mismo modo, el profesor puede completar las indicaciones de los alumnos sobre la orientación de las agujas imanadas llevándoles a considerar, además de la declinación, la inclinación magnética (pocas veces contemplada por los alumnos), clarificando el por qué de los nombres Norte y Sur dado a los polos (que los alumnos, a menudo, designan como «positivo» y «negativo») y propiciando una discusión acerca de la importancia de la brújula en la navegación y su contribución a los grandes descubrimientos geográficos.

Por otra parte, si bien los alumnos se refieren a las atracciones y repulsiones entre los polos y al debilitamiento de la acción con la distancia («como ocurre con las fuerzas entre cargas»), no es conveniente detenerse excesivamente en el concepto de polo o masa magnética, ni referirse a la ley de Coulomb para las fuerzas entre polos, puesto que son conceptos que, como sabemos, se revelaron escasamente fructíferos. En realidad, es mejor orientar el estudio desde el primer momento hacia la línea de investigación basada en las semejanzas entre los fenómenos magnéticos y eléctricos. Conviene detenerse, pues, para completar este estudio de la fenomenología del magnetismo natural, en realizar un estudio comparativo entre ambos fenómenos que los alumnos relacionan desde el primer momento.

A.4. Establecer, a la luz de lo visto hasta aquí, las semejanzas y diferencias entre los fenómenos electrostáticos y el magnetismo natural.

Comentarios A.4

Conviene aprovechar esta actividad para resaltar que el estudio de un problema no es en absoluto lineal y puede incluir cambios profundos de orientación. Así, aunque Gilbert había dejado claro que magnetismo y electricidad eran fenómenos distintos, las evidentes semejanzas marcaron el camino para un estudio más fecundo del magnetismo. También debe resaltarse que esta tendencia al razonamiento analógico, a tratar de entender situaciones nuevas a la luz de lo que ya se conoce, es una de las características del pensamiento de los niños, y, en general, de la persona (Driver, 1988). Pese a la enorme utilidad de esta forma de pensamiento, en ocasiones, la analogía utilizada no es la adecuada, siendo una fuente de ideas previas alternativas a las científicas (estudiantes universitarios, por ejemplo, cuando se les presenta dos masas iguales que cuelgan de una polea a diferentes alturas, predicen que se moverán hasta que se queden en el mismo nivel «como en una balanza» (Gunstone y White, 1981).

2. BUSQUEDA DE UNA POSIBLE RELACION ENTRE FENOMENOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS

Las claras analogías entre dos fenómenos distintos, el magnetismo y la electricidad, dio lugar a la búsqueda de una relación entre ellos que pudiera explicar estas características comunes.

A.5. Diseñar algún procedimiento experimental que pueda servir para poner de manifiesto la posible relación entre cargas eléctricas e imanes.

Comentarios A.5

Las propuestas de los alumnos recuerdan a los primeros intentos de poner en evidencia la relación entre cargas e imanes: aproximarlos, esperando ver la aparición de algún tipo de fuerza. Debemos, pues, informar a los alumnos de que estos experimentos resultaron todos infructuosos, por mucho que se aumentara el valor de la carga o la potencia del imán. Esta acción entre cargas e imanes es planteada a veces por los alumnos proponiendo colocar una varilla electrizada sobre la plataforma de un versorio (como el descrito en las primeras actividades del capítulo de Electroestática) y acercando un imán. Como es lógico,

en este caso si se constata una atracción que hace girar al versorio, pero es la misma que se presenta cuando en vez de un imán utilizamos una barra no imanada (¡o el simple dedo!), puesto que se trata simplemente de la interacción electrostática debida a la acumulación de carga, por inducción, en el extremo de la barra metálica. En el caso, bastante frecuente, de que los alumnos no se refieran a la utilización de una corriente eléctrica junto al imán, el profesor puede proponer la realización del experimento de Oersted o, mejor, «dramatizarlo». Una forma de hacerlo es, tras haberse referido al fracaso de todos los experimentos consistentes en colocar cargas frente a imanes, proponer un experimento confirmatorio pero utilizando - «ya que resulta costoso obtener una gran carga por frotación» - un cable de poca resistencia conectado a una pila para que circule una carga elevada por el mismo. Este fue precisamente el montaje concebido por Oersted para - según se dice - mostrar a los alumnos que no existía interacción entre cargas e imanes.

A.6. Utilizar un cable por el que circula la corriente y una aguja imanada colocada en su proximidad para constatar la existencia o no de interacción entre cargas e imanes.

Comentarios A.6.

Los resultados del experimento son concluyentes: cada vez que se cierra el circuito la aguja imanada - colocada paralelamente al cable - se desvía. Es importante ahora, llevar a los alumnos a reflexionar - tras hacerles saber que sus resultados reproducen los obtenidos por Oersted - en por qué esta experiencia sí da resultados mientras que centenares de experimentos previos habían fracasado, lo que permite a los alumnos asociar los fenómenos magnéticos al movimiento de las cargas.

A.7. Señalar la diferencia fundamental entre la experiencia de Oersted y las que dieron un resultado negativo. Sacar conclusiones.

Un resultado experimental como, por ejemplo, el de la experiencia de Oersted, que acabamos de ver, («las cargas en movimiento crean campos magnéticos y ejercen, por tanto, fuerzas sobre imanes»), plantea a su vez nuevos problemas que se presentan como posibles líneas de investigación.

Saber extraer, explicitándolos, los nuevos problemas y proponer las líneas de investigación que de ellos se derivan es precisamente uno de los aspectos fundamentales del trabajo científico. Proponemos por ello la siguiente actividad, sin duda difícil, pero del mayor interés.

A.8. Considerar los problemas que plantean los resultados de la experiencia de Oersted, o, dicho de otro modo, ¿qué investigaciones cabría emprender en torno a la relación que acabamos de establecer entre magnetismo y corriente eléctrica?.

Comentarios A.8.

Como se ha indicado a los alumnos en el texto que precede a la actividad, esta es sin duda difícil, pero es también esencial que los alumnos se asomen alguna vez a las tareas más complejas del trabajo científico, evitándose así imágenes simplistas.

Las propuestas de los alumnos son, por supuesto, parciales pero el profesor puede completarlas refiriéndose a las siguientes líneas de investigación surgidas históricamente de la experiencia de Oersted:

1ª) La determinación cuantitativa del campo magnético producido por la corriente, con lo que está ligado el problema de la obtención de campos magnéticos de intensidad controlable, que sustituyan con ventaja a los imanes naturales (construcción de electroimanes).

2ª) Estudio de las fuerzas ejercidas entre imanes y corrientes, que está ligado a la posibilidad de utilizar dichas fuerzas, es decir, a la posibilidad de construir motores eléctricos, instrumentos de medida de la corriente, etc.

3ª) La posibilidad de que, al igual que la corriente eléctrica crea campos magnéticos, los campos magnéticos, engendren corriente. Esto abriría el camino a nuevas formas de producción de corriente eléctrica, por lo que el problema tiene también un indudable interés práctico.

4ª) La explicación del magnetismo natural.

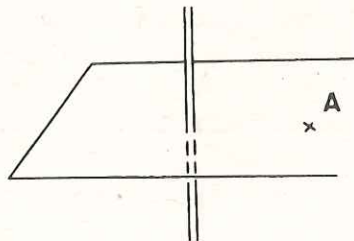
3. LINEAS DE INVESTIGACION ABIERTAS POR LA RELACION ESTABLECIDA ENTRE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

Señalemos de entrada que vamos a proceder a un estudio meramente cualitativo con objeto simplemente de mostrar su fecundidad y su considerable influencia en el desarrollo científico y técnico de la sociedad contemporánea.

3.1. Estudio del campo magnético creado por una corriente

El primer estudio que se realizó tras los experimentos de Oersted fue el del campo magnético creado por una corriente rectilínea, por ser, evidentemente, el caso más simple. Y, en cuestión de algunos meses, quedó establecida la forma de las líneas de fuerza y sentido, así como la expresión que determina la intensidad del campo magnético en cualquier punto del campo creado por la corriente.

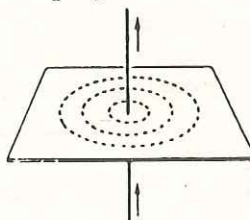
A.9. Dibujar, a modo de hipótesis, en el esquema adjunto, alguna línea de fuerza del campo magnético creado por una corriente rectilínea. ¿De qué dependerá la intensidad del campo en un punto como el A?



A.10. Diseñad experiencias para comprobar cualitativamente las hipótesis.

Comentarios A.9 y A.10.

Aunque los alumnos intuyen correctamente que las líneas de fuerza en este caso han de ser circulares con centro en el cable, dibujando circunferencias como las de la figura, conviene explicitar las razones de simetría - y, en definitiva, de homogeneidad del espacio - que fundamentan esta hipótesis.



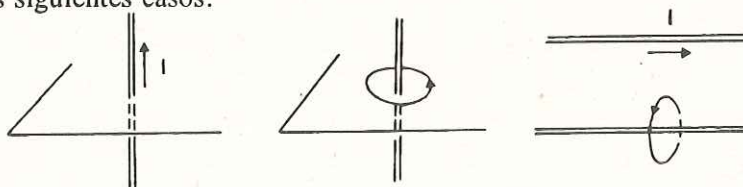
Para verificarla sugieren espolvorear limaduras de hierro o bien colocar agujas imanadas en distintas posiciones; ambos procedimientos son, por supuesto, válidos aunque se precisan intensidades muy elevadas para ver la ordenación de las limaduras y es preferible recurrir a las agujas imanadas.

Sin muchas dificultades, los alumnos avanzan, además, que la intensidad del campo magnético en un punto será mayor cuanto menor sea su distancia al cable y cuanto mayor sea la intensidad de la corriente que circula por el mismo. Se refieren también a la posible influencia del medio. En definitiva, representando el campo magnético por B , se tiene, a modo de hipótesis, $B = f(I/r)$.

Como hemos visto, al colocar una aguja imanada en las proximidades de un cable rectilíneo por el que pasa la corriente, la aguja se desvía en una determinada dirección. Interesa completar el estudio de las líneas de fuerza del campo creado, indicando cuál es dicha dirección, es decir, hacia dónde se orienta, por ejemplo, el polo norte (tomado como referencia).

A.11 (Opcional) A partir de observaciones sobre cómo se desvía una aguja imanada, inventar una regla para determinar el sentido de las líneas de fuerza del campo magnético creado por una corriente rectilínea.

A.12 (Opcional) Aplicando la regla introducida en A.11, determinar el sentido de la corriente o de las líneas de fuerza en los siguientes casos:



Como hemos visto, un cable por el que circula la corriente crea a su alrededor un campo cuya intensidad depende de la intensidad de la corriente. Sin embargo a menudo interesa obtener valores muy altos del campo magnético sin tener que aumentar para ello la intensidad de la corriente.

A.13. Indicar un modo de aumentar al máximo la intensidad del campo magnético en un punto, situado a una determinada distancia, sin necesidad de aumentar la intensidad de la corriente.

Comentarios A.13

Este tipo de actividad (¿Qué hacer para conseguir...?) es de naturaleza distinta a las habituales en un curso de ciencias (¿Cómo es...?, etc) y supone una aproximación a la tecnología. Interesa, pues, incluir actividades de este tipo siempre que sea posible. En este caso, los alumnos sugieren, como es lógico, aproximar todo el cable al punto considerado, arrollándolo para ello en forma de espira o, mejor aún, de solenoides. Conviene también que estas propuestas sean llevadas a la práctica y que los alumnos constaten el gran aumento del campo magnético conseguido con el solenoide, que actúa como un verdadero imán. Ello permite plantear la siguiente actividad, prosiguiendo con este tratamiento tecnológico.

A.14. Los electroimanes desplazan en muchos usos a los imanes naturales, no solo porque pueden conseguirse valores del campo magnético mucho más altos, sino por la posibilidad de poseer campos magnéticos variables. Diseñar y construir un electroimán que permita disponer de campos magnéticos de intensidad variable.

Comentarios A.14.

La confección del electroimán solicitado es muy sencilla, pero antes de llevarlo a la práctica es necesario clarificar el papel del núcleo en el interior del solenoide, por qué es preferible el hierro dulce al acero (que se imanta permanentemente), etc.

Una vez establecido que los campos magnéticos son creados por cargas en movimiento, fue posible abordar el problema de la naturaleza del magnetismo natural

3.2. Explicación cualitativa del magnetismo natural

A.15. Sugerir una explicación del magnetismo natural.

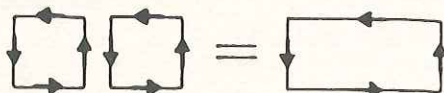
A.16. (Opcional) Explicar a partir del modelo propuesto, cómo es posible que:

- un imán atraiga a objetos que no son imanes;
- algunos cuerpos se conviertan en imanes después de haber sido frotados con un imán potente;
- las limaduras de hierro se coloquen longitudinalmente respecto a las líneas de fuerza;
- no se puedan separar los polos de un imán.

Comentarios A.15 y A.16

Tras haber visto que las cargas en movimiento producen campos magnéticos, los alumnos conciben que el magnetismo natural podría estar igualmente asociado al movimiento de cargas y más concretamente al giro de los electrones, lo que convierte a cada átomo en un pequeño imán. A partir de esta idea fundamental, que los alumnos han introducido, el profesor puede profundizar justificando el hecho de que toda la materia posea propiedades magnéticas, aunque muy débiles: en efecto, en la mayor parte de las sustancias, estos campos magnéticos elementales están orientados en todas direcciones, anulándose globalmente sus efectos. En general pues, el carácter magnético de estas sustancias es muy débil.

En el caso de sustancias como la magnetita, que presentan un fuerte carácter magnético, debemos suponer (y se ha verificado que así es) que los átomos están orientados de tal forma que los efectos magnéticos individuales se refuerzan. En la figura se presenta un modelo simple de explicación de la existencia, en estas sustancias, de una corriente suficientemente notable para que sus efectos magnéticos sean perceptibles.



La imanación, por ejemplo, del hierro puede entenderse, entonces, como el resultado de una orientación de las corrientes elementales, inicialmente dirigidas en todas direcciones, de forma aleatoria.

En realidad se ha probado experimentalmente que una masa cualquiera de hierro, cobalto, etc., consiste

en grandes grupos de átomos, llamados dominios, con sus átomos orientados de forma que los campos magnéticos elementales se refuerzan. Pero estas regiones o dominios están entre sí orientadas al azar, por lo que su efecto magnético total es despreciable. Pero un campo magnético externo es capaz de alinear dichos dominios en la misma dirección, convirtiendo así a dicha muestra en un imán. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, en un electroimán (ver figura).



3.3. Producción de corriente eléctrica mediante campos magnéticos

Como hemos visto, una de las líneas de investigación más importante que el experimento de Oersted generó fue el estudio de la posible producción del efecto simétrico al detectado por él: si las cargas en movimiento crean un campo magnético, ¿se podrá producir el movimiento de cargas (corriente eléctrica) mediante campos magnéticos?.

A.17. Indicar, a título de hipótesis, en qué condiciones cabe esperar que un campo magnético produzca una corriente en un conductor.

A.18. Diseñar un montaje experimental para contrastar las hipótesis emitidas. Realizar los experimentos previstos.

Comentarios A.17 y A.18

Las propuestas de los alumnos consisten en mover un imán en las proximidades de un circuito. Utilizando como circuito una bobina conectada a un galvanómetro, los alumnos pueden verificar fácilmente su hipótesis, pero conviene que el profesor salga al paso de esta aparente simplicidad que podría quitar importancia al éxito que supuso, tras largos años de intentos infructuosos, la obtención por Faraday de corriente. Puede referirse así a los intentos del propio Faraday quien en 1824 (la experiencia de Oersted data de 1820), colocó imanes en la proximidad o dentro de un circuito cerrado, consistente en una espira conectada a un amperímetro. Tras algunos intentos infructuosos abandonó el trabajo, reemprendiéndolo en 1831, esta vez con éxito. Los resultados alcanzados señalaban lo siguiente:

Puede engendrarse corriente en un circuito cerrado, desprovisto de generadores, si hay movimiento del imán respecto a la espira (lo que podía conseguirse moviendo el imán o la espira) o modificando la intensidad del campo magnético (utilizando para ello electroimanes).

En definitiva, ha de resaltarse que se produce corriente eléctrica siempre que haya movimiento relativo entre las líneas de fuerza del campo magnético y el conductor.

Conviene resaltar también las repercusiones de los trabajos de Faraday y otros investigadores desde el punto de vista teórico y práctico. Por una parte condujeron a la producción industrial de corriente eléctrica, tanto alterna como continua. Por otra parte, dichos trabajos hicieron ver la íntima conexión entre los fenómenos eléctricos y magnéticos llevando a una visión unitaria de los mismos: el electromagnetismo, que se convirtió, junto con la mecánica newtoniana, en un segundo pilar de la física clásica.

4. SINTESIS ELECTROMAGNETICA DE MAXWELL

Los hechos hasta aquí establecidos sobre el comportamiento de las cargas eléctricas iban a servir de base a C. Maxwell para la elaboración de la «teoría electromagnética» en la que abrazó de forma coherente las principales relaciones y fenómenos estudiados, al tiempo que abría nuevas y fecundas líneas de investigación. Conviene, pues, que comencemos recapitulando los aspectos más significativos de lo que hemos visto hasta aquí:

A.19. Recapitular los aspectos más significativos del comportamiento de las cargas eléctricas e imanes.

Una teoría fructífera no se limita a recoger los hechos experimentales conocidos, sino que plantea nuevos problemas y realiza nuevas predicciones cuya contrastación vendrá, a su vez, a afianzarla. Veamos a continuación uno de los problemas de mayor interés abordado por Maxwell.

- A.20. Consideremos un cable largo y recto por donde pasa una corriente. Como sabemos, y como predicen también las ecuaciones de Maxwell, se crea en el espacio que le rodea un campo eléctrico, E , y uno magnético, B - un campo electromagnético, como Maxwell le llamó -. Si la corriente del cable es estacionaria, E y B serán constantes en cada punto del espacio. Si la corriente sufre un incremento repentino, E y B pasarán a un valor estacionario mayor (E' y B'). ¿Pero qué ocurre mientras dura la variación de intensidad, es decir, mientras las cargas eléctricas están sufriendo una aceleración?. O, dicho de otro forma, ¿cómo puede explicarse la modificación de E y B en el espacio circundante?.

Comentarios A.20

Independientemente de que los alumnos hayan logrado o no concebir la necesidad de que las cargas, mientras se aceleran, emitan «algo» capaz de modificar el medio, el profesor puede ahora presentar esquemáticamente los trabajos de Maxwell (1831-1879) que los alumnos pueden captar mejor precisamente por haberse planteado ellos mismos el problema. El profesor puede, pues, referirse a que el aumento habido de E y B , significa que el medio posee ahora una mayor energía potencial y, por tanto, cabe suponer, y es lo que predicen las ecuaciones de Maxwell, que mientras dura la aceleración de las cargas, se emite al espacio la energía necesaria para modificar E y B . Las ecuaciones obtenidas para la propagación de dichas ondas eran del tipo general llamado ecuaciones de ondas, correspondiente a los movimientos ondulatorios. Y al calcular la velocidad que habría de llevar dicho impulso de energía, Maxwell obtuvo... ¡la velocidad de la luz!

La aparición de este dato era indudablemente muy significativa y hacía pensar en una posible relación de la luz con los fenómenos electromagnéticos, lo que significaba que una nueva parte de la Física, la óptica, podía quedar abrazada por el electromagnetismo.

La contrastación de estas predicciones fue sugerida por el propio Maxwell: se trataba de mantener aceleradas las cargas (mediante un movimiento oscilatorio, por ejemplo) y detectar la emisión de las ondas electromagnéticas en el espacio circundante.

En resumen, según la teoría de Maxwell, las cargas eléctricas emitirían, al oscilar, energía a su alrededor, energía que se propagaría a la velocidad de la luz según un movimiento ondulatorio. Es más, al calcular el valor de la carga capaz de emitir una onda electromagnética de frecuencia correspondiente a la de la luz visible, el valor de dicha carga resultó coincidir con la del electrón.

Todo cuadraba, pues, en esta teoría y las principales predicciones fueron confirmadas por H. Hertz (1857-1894) quien llegó a producir y detectar ondas electromagnéticas. De aquí que también se las conozca con el nombre de «ondas hertzianas». Al referirse a los trabajos de Hertz conviene describirlos mínimamente (descarga oscilante entre dos esferas, emisor/receptor, .. (Holton, 1972)) y dedicar cierta atención al «pequeño problema», para el que no encontró explicación, el efecto fotoeléctrico, consistente en que la chispa que debía saltar entre dos esferas metálicas con carga opuesta lo hacía más fácilmente cuando las esferas se iluminaban.

En cualquier caso, y tras siglos de controversia, parecía quedar definitivamente probada la naturaleza ondulatoria de la luz, más precisamente, como una onda electromagnética.

5. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.21. Manejar y analizar un dispositivo para producir corriente eléctrica de forma ininterrumpida.
- A.22. Exponer brevemente la importancia de la teoría electromagnética, considerada, junto con la Mecánica Newtoniana, uno de los dos pilares de la Física Clásica.
- A.23. Describir el fenómeno anómalo detectado por Hertz durante las experiencias de producción de ondas electromagnéticas.
- A.24. ¿Por qué cuando pasa una motocicleta cerca de un receptor de radio, éste suele «hacer ruidos».

EL NACIMIENTO DE LA QUIMICA COMO CIENCIA: ESTABLECIMIENTO DE LA ESTRUCTURA ATOMICA DE LA MATERIA

INTRODUCCION

El estudio de la mecánica y de las propiedades eléctricas de la materia, representó, un claro avance en el estudio de la materia y de sus transformaciones, cuyo desarrollo no sólo dio lugar a importantes aplicaciones (astronomía, máquinas, corriente eléctrica, etc), sino, como hemos visto, a una concepción unitaria del universo.

En la construcción de esta visión unitaria y armoniosa de la materia jugó un papel fundamental el estudio de la enorme variedad de sustancias existentes con propiedades muy diversas y de sus profundas transformaciones, dando lugar al surgimiento de la Química como ciencia. En efecto, el establecimiento de un modelo de estructura de la materia capaz de dar cuenta de estos fenómenos, iba a convertirse en uno de los mayores éxitos de la ciencia clásica, extendiendo y afianzando las concepciones mecanicistas, cuya influencia había de llegar incluso hasta la interpretación misma del comportamiento humano.

Pero, si bien la Química iba a construirse inicialmente como extensión y profundización de la imagen mecanicista, su desarrollo iba a plantear problemas que contribuirían a la crisis del mecanicismo y al surgimiento de nuevas concepciones y aplicaciones que habrían de cambiar el modo de vida de los pueblos desarrollados a la vez que originaron nuevos y graves problemas con los que la humanidad ha de enfrentarse hoy.

A.1. Indicar brevemente algunos de los campos más importantes de aplicación de la Química y su incidencia en la sociedad.

Comentarios A.1.

Aunque presentadas, en general, de forma desordenada, las aplicaciones enumeradas por los alumnos pueden agruparse en algunos grandes bloques:

a) Obtención y conservación de alimentos (fertilizantes, insecticidas, sustancias conservantes...). En este bloque no suele hacerse sin embargo referencia a la «revolución agrícola» que han posibilitado los plásticos, hecho sobre el que conviene que el profesor llame la atención.

b) La fabricación de fármacos (conviene insistir aquí en que gran parte de las sustancias naturales con aplicaciones farmacológicas, tales como las vitaminas, etc, se obtienen hoy, por síntesis en los laboratorios, al tiempo que se han creado a su vez nuevas sustancias que van desde la simple aspirina a los antibióticos, barbitúricos, píldoras anticonceptivas, etc, que han supuesto importantes logros de tipo social, como el tratamiento del dolor, la reducción drástica de muchas enfermedades, el control de la natalidad, etc..

c) Fabricación de productos y materiales de interés común (fibras sintéticas, plásticos, gomas, materiales para la construcción, explosivos, etc).

Los alumnos han de llegar a comprender que sin la Química no existirían ni el calzado ni muchas de las ropas con que visten, ni tampoco los pupitres sobre los que escriben, ni los materiales con los que se construyó y pintó el centro escolar donde se encuentran, etc...

No obstante, en general, no hay muchas referencias a las aplicaciones menos positivas, tales como los gases venenosos utilizados con tanta profusión en la primera guerra mundial y en los campos de concentración nazis, o el «napalm» de la guerra del Vietnam, etc, sin olvidar las reservas que actualmente poseen muchos países para la denominada «guerra química». Por otra parte se pueden citar también otros problemas como, la contaminación producida por los residuos químicos tóxicos vertidos a los ríos, mares,

etc, por muchas empresas, la fabricación de drogas para el narcotráfico, etc, etc. Es importante, que estas «aplicaciones» no se oculten ya que hay que evitar que los alumnos adquieran una imagen estereotipada y deformante de la ciencia, como algo intrínsecamente beneficioso (o perverso).

A.2. Indicar cuáles podrían ser algunos de los grandes problemas que la Química ha tenido que abordar a lo largo de su desarrollo como ciencia.

Comentarios A.2.

Con esta actividad, se facilita que los alumnos hagan referencia de forma más o menos indirecta a problemas tales como: El conocimiento de la estructura íntima de la materia (continuidad o discontinuidad). Explicación de las propiedades de las sustancias. El estudio de las reacciones químicas: cómo ocurren, cantidades de productos que se obtienen, etc

La consideración de estas propuestas permite al profesor establecer un hilo conductor, que puede irse enriqueciendo paulatinamente, pero al que es necesario referirse desde el principio para evitar que los alumnos inicien una tarea sin saber mínimamente hacia donde se va y por qué. En este hilo conductor ha de quedar claro que uno de los problemas fundamentales en el desarrollo de la Química como Ciencia, ha sido llegar a un conocimiento de la estructura de la materia que permitiera explicar muchas de las transformaciones que en ella se pueden producir y lo que es más importante: predecir y dirigir dichas transformaciones. En el establecimiento de dicha estructura han confluído históricamente dos líneas de trabajo: el estudio del comportamiento de los gases (estado en el que las sustancias presentan un comportamiento más simple), y toda la información acumulada durante siglos sobre los procesos de separación de sustancias, transformaciones de las mismas, etc. De acuerdo con ello, el desarrollo del tema puede ajustarse al siguiente índice:

INDICE:

1. Establecimiento de la estructura atómica de la materia.
 - 1.1. Contribución del estudio de los gases al establecimiento de la estructura de la materia.
 - 1.2. Contribución de la información química acumulada en la época de Dalton, al establecimiento de la estructura atómica de la materia.
 - 1.3. Hipótesis atómica de Dalton.
2. Desarrollo de la hipótesis atómica de Dalton.
 - 2.1. Trabajos de Gay-Lussac sobre reacciones entre gases.
 - 2.2. Determinación de masas atómicas relativas.
 - 2.3. Ensayos de ordenación de elementos: El sistema periódico.
3. Actividades complementarias.
4. Anexo: Algunas técnicas básicas del laboratorio químico.

1. ESTABLECIMIENTO DE LA ESTRUCTURA ATOMICA DE LA MATERIA

1.1. Contribución del estudio de los gases al establecimiento de la estructura de la materia.

El estado gaseoso es aquél en el que las sustancias presentan un comportamiento más simple. No es de extrañar pues, que el estudio de las propiedades de los gases esté íntimamente ligado al desarrollo de las concepciones acerca de la estructura de la materia. Comenzaremos por una breve descripción de dicho comportamiento.

A.3. Describid de forma cualitativa las características del comportamiento físico de los gases.

Comentarios A.3.

Los alumnos disponen de la suficiente experiencia acumulada para referirse, como efectivamente hacen a: 1º) La facilidad con que los gases se mezclan entre sí. 2º) La facilidad con que se comprimen y se expanden, ocupando la totalidad del recipiente que los contiene. 3º) La influencia de la temperatura en el volumen ocupado y/o la presión ejercida. Naturalmente, la reformulación del profesor puede servir para precisar la terminología empleada (introduciendo conceptos como difusión, compresibilidad, etc) y ordenar las propiedades enumeradas por los grupos de alumnos. Puede ocurrir también que los alumnos

indiquen otras «propiedades» de los gases, tales como que «no se ven», «no pesan», etc, que conectan con preconceptos bien estudiados en la literatura (Carrascosa, 1985), siendo necesario detenerse en aclarar estas cuestiones. En cualquier caso es conveniente que el profesor se asegure de que los preconceptos mencionados han sido efectivamente superados. Para ello se pueden proponer actividades que favorezcan su aparición (Furió y Hernandez, 1983). Las actividades complementarias que aparecen al final del tema pueden utilizarse en el momento que convenga, bien sea al comienzo, para diagnosticar la existencia de preconceptos, como al final del tema, para ver si han sido superados.

A.4. Diseñad sendas experiencias para mostrar cualitativamente las características del comportamiento de los gases, que se han señalado en la actividad anterior.

Comentarios A.4

Las respuestas de los alumnos suelen ser en general ingeniosas, aunque algunas de difícil realización. Conviene entonces, sin rechazar ninguna de ellas, pero favoreciendo la actividad crítica, retener las más sencillas. Así, la difusibilidad de los gases, puede ponerse en evidencia mediante la conexión de dos recipientes, uno de los cuales contenga un gas coloreado y el otro simplemente aire. El uso de bombines de bicicleta o de jeringuillas taponadas, puede servir para mostrar la compresibilidad de los gases, y resulta cómodo y espectacular la utilización de globos colocados cerca de focos caloríficos, para constatar la influencia de la temperatura en el volumen. (Unesco, 1982).

Más dificultades plantea la constatación de la variación de la presión con la temperatura (a volumen constante); los alumnos suelen referirse al aumento de la presión en las ruedas de los automóviles tras rodar algún tiempo, pero una visión directa de este aumento de presión con la temperatura, puede conseguirse fácilmente colocando una moneda sobre el gollete de una botella vacía (mojándolo previamente para hacer un cierre hermético). Para ello y una vez puesta la moneda, se rodea la botella con las manos, con lo que rápidamente se observa cómo el aumento de presión provoca que la moneda se levante; escapa así algo de gas disminuyendo la presión, con lo que la moneda cae de nuevo y se repite otra vez el proceso.

Respecto a la idea de que los gases no pesan, que como hemos indicado suele aparecer con cierta frecuencia, puede recurrirse para su falsación a utilizar un quitasatos, conectado a un pequeño tubo de goma que comunica con el exterior y que se abre o cierra por medio de una pinza. Mediante una jeringa que se ajuste a la goma podemos hacer varias extracciones de aire y comprobar cómo el peso va disminuyendo. Naturalmente es necesario tener la precaución de que no entre nada de aire tras cada operación, lo que puede conseguirse fácilmente cerrando bien el paso por medio de la pinza antes de poner o quitar la jeringa. (También puede recurrirse simplemente a un erlenmeyer cerrado con un tapón de goma a través del cual pinchamos con la jeringa y extraemos o inyectamos aire).

A.5. Dad una explicación a modo de hipótesis cualitativa, del comportamiento de los gases. Es decir: Exponed cuál podría ser la estructura de la materia en estado gaseoso, de forma que se justifiquen todos los aspectos del comportamiento observados.

Comentarios A.5.

La idea de una materia constituida por partículas, forma parte de los conocimientos de la mayoría de los alumnos, y aparece sin dificultad. No obstante se trata muy a menudo de una simple retención memorística; por ello es necesario que el profesor insista pidiendo una mayor precisión, de forma que se expliquen los aspectos más relevantes del comportamiento de los gases. Ello conduce a los alumnos a una discusión realmente creativa, que enriquece y da sentido a la imagen corpuscular.

Así, la fácil difusibilidad de los gases, les lleva a concebir que las partículas han de hallarse en rápido movimiento; la fácil compresibilidad les hace suponer que las partículas ocupan solo una pequeña fracción del volumen, o, dicho de otro modo: que el tamaño de las partículas es despreciable frente al volumen total (simplificación esta, fundamental para la operativización del modelo y sobre la que el profesor, conviene que llame la atención); la influencia de la temperatura, la interpretan ahora fácilmente, y se afianza así la imagen de partículas muy pequeñas (tamaño despreciable) dotadas de grandes velocidades, chocando entre sí o con las paredes del recipiente, etc...

A.6. Partiendo del modelo propuesto para los gases, indicad, siempre a título de hipótesis, de qué factores dependerá la presión de un gas encerrado en un recipiente y la forma en que influye cada uno de ellos.

Comentarios A.6.

La discusión de los alumnos conduce a enunciar que la presión del gas debería ser función del volumen del recipiente, del número de partículas y de la temperatura.

Sin embargo, las respuestas aparecen, a veces, de forma algo confusa, pero que permite pasar fácilmente a los factores indicados. Se menciona así, en ocasiones el papel de la velocidad de las partículas, que puede relacionarse con el de la temperatura. En otros casos, se hace referencia al tamaño de las partículas, pero también aquí se comprende fácilmente que este no es un factor significativo, si consideramos que es despreciable frente al volumen ocupado.

El establecimiento de las relaciones entre los factores mencionados exige que los alumnos hagan un análisis y consideren la posible influencia de cada uno de ellos en la presión, manteniendo el resto constante. Esto les lleva a suponer:

a) Que la presión P ha de aumentar con la temperatura T (si el número de partículas N , y el volumen V permanecen constantes), es decir sugiere una relación del tipo: $P/T = \text{cte}$, (para N y V constantes). En realidad como los alumnos desconocen la escala absoluta de temperaturas suelen escribir $P/t = \text{cte}$. El desarrollo de esta investigación permitirá precisamente, introducir dicha escala.

b) Del mismo modo, los alumnos proponen razonadamente las relaciones $P \cdot V = \text{cte}$ (para N y T constantes), $V/T = \text{cte}$ (para T y P constantes), y $P/N = \text{cte}$ (para V y T constantes).

En la puesta en común se puede llegar con facilidad a enunciar la expresión: $P \cdot V = K \cdot N \cdot T$, que engloba a todas las anteriores (donde K es una constante común para todos los gases).

A.7. Diseñad un montaje experimental que permita contrastar la relación supuesta entre la presión y el volumen ocupado por un gas.

Comentarios A.7.

Los alumnos sugieren la utilización de un cilindro transparente, provisto de un émbolo, que pueda subir y bajar fácilmente, y en donde se halla aprisionada una cierta cantidad de gas. Una simple jeringuilla, o bien una probeta graduada, como se describe en el Nuevo manual de la Unesco para la enseñanza de las ciencias (Unesco, 1982), pueden servir perfectamente. Basta colocar pesas iguales sobre el émbolo dispuesto verticalmente, para obtener valores relativos de la presión, medir el volumen en cada caso y construir una tabla de valores P - V .

El uso de jeringas desechables permite, tomando algunas precauciones, obtener resultados bastante correctos. Entre estas precauciones cabe notar las siguientes:

El cierre de la jeringuilla: los alumnos proponen, entre otros procedimientos, soldar a la llama; poner una pieza de goma sobre la mesa y presionar en ella la jeringuilla; hundir la aguja de la jeringa en un corcho, etc; excepto este último (que no impide las pérdidas de aire), los demás funcionan bastante bien.

Tener en cuenta la fricción (conviene presionar ligera y repetidamente con la mano hasta constatar que la posición del émbolo no varía o utilizar algún lubricante).

Las pesas han de ser lo más planas posible (va muy bien un cilindro de hierro cortado en discos).

A.8. Proceded a la realización del experimento diseñado y al análisis de los resultados obtenidos.

Comentarios A.8.

Los alumnos, que ya han realizado numerosas representaciones gráficas, recurren a representar $P = f(V)$, que según la hipótesis manejada debe de conducir a una hipérbola. Conviene llevarles a realizar una representación que proporcione -siempre según la hipótesis- una línea recta. Ello conduce a $P = f(1/V)$.

Normalmente es necesario que el profesor haga algunas consideraciones sobre los valores de la presión tomados, puesto que los alumnos suelen tener dificultades en el manejo de valores relativos: si cada pesa supone un incremento de presión $\Delta P = 1$ (unidad arbitraria), y la presión atmosférica es P_0 , los valores sucesivos serán: $P_0 + 1$; $P_0 + 2$; $P_0 + 3$; etc. Ahora basta tomar P_0 como origen (es decir desplazar la escala) para poder considerar como valores de la presión 1, 2, 3 etc.

Los resultados obtenidos -si se han adoptado las precauciones indicadas en la actividad anterior- son bastante aceptables. No obstante es preciso salir al paso de posibles distorsiones sobre el trabajo científico por parte de los alumnos, tales como imaginar que bastan unos pocos resultados como los obtenidos en un laboratorio escolar, para dar por verificada o falsada una hipótesis (Hodson, 1985). Para ello el profesor puede recurrir (después de que los alumnos realicen los experimentos correspondientes) a comentar los trabajos realizados por Boyle y por Gay-Lussac. Con este mismo objetivo se puede hacer uso

también, de tablas de resultados obtenidas en experimentos realizados por científicos, muchas veces en condiciones más rigurosas que las de un laboratorio escolar. En este sentido se propone cualquiera de las dos actividades siguientes.

A.9. Se ha procedido a medir el volumen ocupado por una cierta cantidad de gas a temperatura constante, para distintas presiones, obteniendo la siguiente tabla de valores:

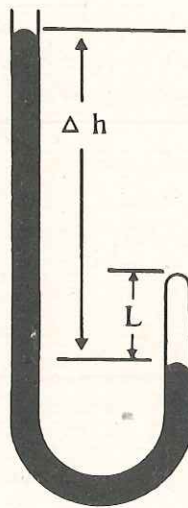
$P_{(atm)}$	9	15	21	45	63
$V_{(litros)}$	70	42	30	14	10

Proceded al análisis de dichos resultados.

A-9 (bis). En su experimento original, Boyle midió la longitud L (directamente proporcional al volumen) de una columna de gas, en función de la presión ejercida por una columna de mercurio Δh (ver figura adjunta). Con este procedimiento obtuvo la siguiente tabla:

L (cm)	50.0	45.0	40.0	35.0	30.0
h (cm)	0.0	8.3	18.0	32.1	50.0

$$P_{\text{atm}} = 75 \text{ cm Hg}$$



Proceder al análisis de dichos resultados.

Comentarios A-9 y A-9 (bis).

Las actividades anteriores, no sólo contribuyen a motivar a los alumnos (dada la convergencia de sus resultados con los obtenidos por relevantes científicos) y a proporcionarles una imagen del trabajo científico más próxima a la realidad, sino que también pueden utilizarse actividades del mismo tipo, cuando la realización material de un experimento, resulta difícil de llevar a cabo (complejidad del montaje, falta de medios técnicos, falta de tiempo, etc). Ello no disminuye el carácter de investigación del trabajo realizado (muchos investigadores recurren a otros equipos para la realización de experiencias complejas). En cualquier caso, no es preciso ni conveniente el contrastar todas y cada una de las relaciones que se derivan de las hipótesis emitidas. Bastaría la realización de uno o dos experimentos, elegidos de acuerdo con el tiempo y material disponible, y proporcionar tablas de datos de los otros aspectos para que los alumnos los analicen y extraigan las oportunas conclusiones. O si se prefiere, se puede simplemente señalar que de igual modo se puede constatar la validez de las restantes expresiones. De ahí que las tres actividades siguientes se propongan con carácter opcional.

A.10.(opcional) Diseñad un montaje que permita contrastar la relación $V/T = \text{cte}$ (para una masa dada de gas a presión constante)

A.11.(opcional) Proceded a la realización del experimento diseñado y al análisis de los resultados obtenidos.

A.12.(opcional) Se ha procedido a medir el volumen ocupado por una masa dada de un gas a presión constante, para distintas temperaturas, obteniendo la siguiente tabla de valores:

t (°C)	0	10	20	30	40	50	60
V (cc)	9100	9430	9770	10100	10400	10800	11100

Proceded al análisis de dichos resultados.

Mediante experimentos como los realizados y otros mucho más precisos, se ha verificado la validez aproximada de las hipótesis emitidas, apoyando la idea de una estructura discontinua de la materia, que estaría así formada por partículas pequeñísimas.

Comentarios A.10; A.11 y A-12.

En los comentarios anteriores ya nos hemos referido en parte a estas actividades. En la A.10, los alumnos suelen indicar la posibilidad de sumergir una jeringuilla en agua y calentar, obteniendo así una tabla del volumen frente a la temperatura. El profesor puede optar por la realización de la práctica, precisando todo lo que sea necesario el diseño sugerido (posibilidad de sustituir la jeringuilla por un matraz con un capilar horizontal, y el émbolo por una gota de mercurio -tal y como hizo el propio Boyle- para que las variaciones de volumen sean perceptibles, forma de calentar uniformemente, etc) o bien por pasar directamente a la actividad siguiente, en donde se da ya una tabla de resultados. Un aspecto interesante es la extrapolación de la gráfica obtenida para ver a qué temperatura el volumen del gas se haría cero (cero absoluto de la escala Kelvin). Aunque, obviamente, este sea un proceso irrealizable (ya que a cierta temperatura finita, todo gas se condensará para formar un liquido), no por ello esta extrapolación (o la de los valores de $P = f(t)$ a V constante) deja de ser indicativa de la existencia de un límite inferior de temperatura, predicho también (y ello conviene señalarlo), al considerar otras situaciones físicas. Así pues existe abundante evidencia experimental, acerca del carácter de límite inalcanzable que posee el cero absoluto (tercer principio de la termodinámica).

A.13. La expresión conocida como «ley de los gases perfectos», obtenida anteriormente en la actividad cuatro, no se cumple en la realidad mas que de forma aproximada, habiéndose observado que cuanto mayor es la presión a que se somete un gas, menos se ajusta su comportamiento a dicha ecuación. Intentar justificar este hecho.

Comentarios A.13.

Con esta actividad se pretende que los alumnos lleguen a comprender el carácter de aproximación que la ley $PV/T = cte$ (y en general cualquier ley) tiene. Por supuesto, los alumnos son capaces de entender que si aumenta mucho la presión a que se somete un gas, las condiciones consideradas en el modelo se alteran: ya no puede suponerse que el volumen ocupado por las partículas sea despreciable en comparación con el volumen del recipiente, ni tampoco que las partículas no se ejerzan entre ellas otras fuerzas que las de la colisión, etc.

A.14. Una jeringuilla herméticamente cerrada contiene 10 cc de aire a la presión de 1 atmósfera y a 25 oC de temperatura. Calcular:

- La presión que ejerce sobre las paredes el aire contenido cuando ocupa un volumen de 3 cc a la temperatura de 25°C.
- El volumen que ocupará el aire contenido si, dejando libre el émbolo desde su posición inicial, elevamos la temperatura a 50°C.
- La presión del aire cuando la temperatura se eleve a 50°C pero manteniendo fijo el émbolo en su posición inicial.

Comentarios A.14.

Se trata de un ejemplo de actividad para el manejo de las leyes estudiadas, con objeto de conseguir la familiarización de los alumnos con las mismas.

A.15. El estudio de la estructura de la materia lo hemos realizado hasta aquí a partir del comportamiento de los gases. ¿En qué medida podemos aceptar que la existencia de partículas (átomos), es una característica de toda la materia y no sólo de los gases?

Comentarios A.15:

Con esta actividad se intenta impulsar una reflexión que permita extender la validez de la concepción atomista sin que quede limitada a los gases. Los alumnos se refieren, lógicamente, a los cambios de estado como una evidencia de que lo establecido para los gases ha de ser válido también para las sustancias en general, ya que una misma sustancia puede encontrarse en distintos estados y pasar por ejemplo de sólido a líquido, de líquido a gas y viceversa. Por otra parte, se aducen también argumentos asociados a la facilidad con que dos líquidos miscibles se difunden o a las disoluciones de sólidos en líquidos, etc, que son hechos fácilmente interpretables mediante la hipótesis atómica.

Hemos visto cómo la hipótesis atómica de la materia explica el comportamiento de la materia en estado gaseoso, y cómo parece válido admitir que toda la materia (y no sólo los gases), se halla compuesta por átomos. No obstante la potencia de esta hipótesis se mostrará cuando intentemos abordar la complejidad de los cambios químicos, como veremos a continuación.

1.2. Contribución de la información química acumulada en la época de Dalton al establecimiento de la estructura atómica de la materia.

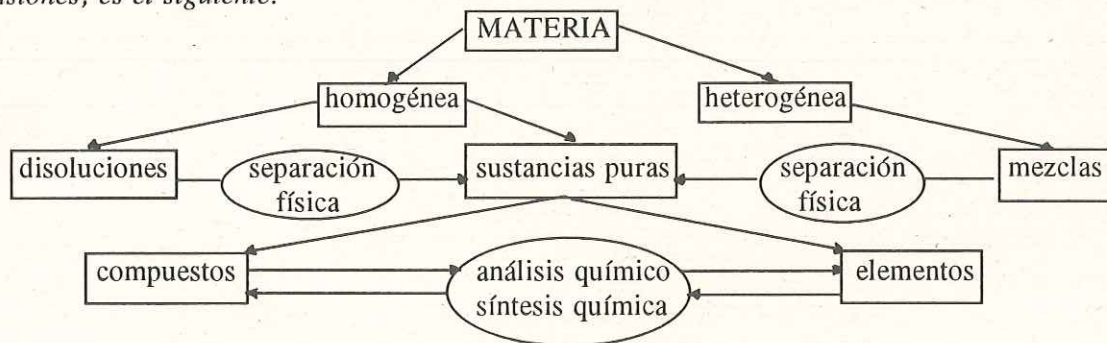
Tal como ya hemos señalado en la introducción, el establecimiento de la estructura atómico molecular de la materia, es el resultado, básicamente, del estudio del comportamiento de los gases y de la gran cantidad de información química que había acumulada en la época de Dalton. Esta adquisición de información química ha estado asociada a la puesta a punto de técnicas básicas de laboratorio (al final del capítulo abordaremos algunas de dichas técnicas) y a la elaboración de conceptos como los de elemento, compuesto etc. Comenzaremos por considerar dichos conceptos fundamentales que, aunque ya conocidos, se prestan a algunas confusiones.

1.2.1 Algunos procesos y conceptos básicos.

A.16. Considerar los conceptos de elemento, compuesto, mezcla, disolución, sustancia pura, análisis, síntesis, sistema homogéneo y sistema heterogéneo y estableced un esquema que muestre las relaciones existentes entre los mismos, con objeto de clarificar y precisar su significado. Proponer también ejemplos sobre cada uno.

Comentarios A.16.

Muchos alumnos suelen tener problemas en la distinción entre elemento y compuesto, mezcla y combinación etc, como se pone a veces de manifiesto cuando proponen los ejemplos que se les pide en la actividad que comentamos. Así por ejemplo, en muchos casos proponen el agua como una mezcla, el aire como un compuesto etc, haciendo necesarias las aclaraciones pertinentes por parte del profesor, que inicialmente se referirán a distinciones puramente fenomenológicas tales como: un sistema homogéneo presenta visualmente una uniformidad de propiedades, un elemento es una sustancia que ya no puede ser descompuesta en otras distintas, etc. Un ejemplo de esquema construido por los alumnos, después de estas discusiones, es el siguiente:



A.17. Interpretar los conceptos introducidos en la actividad anterior utilizando la hipótesis atómica de la materia.

Comentarios A.17.

Mediante la actividad anterior se pretende que los alumnos pasen de interpretaciones puramente fenomenológicas a una interpretación de acuerdo con la hipótesis que están manejando, constatando una vez más como esta hipótesis es útil para abordar nuevos problemas, lo cual refuerza lógicamente su validez. Así por ejemplo, a la primera definición dada para el concepto de elemento químico, se le puede añadir ahora la de que se trata de una sustancia formada por partículas elementales que ya no se pueden romper en otras, etc. El profesor puede referirse a las dificultades que históricamente tuvieron lugar en la clasificación de las sustancias como elementos y compuestos, citando, por ejemplo, cómo durante el siglo XVIII, en la lista de los «elementos» químicos, se incluían también muchos compuestos «recalcitrantes» que permanecieron como elementos hasta que se dispuso de medios técnicos más poderosos y se pudieron separar en sus componentes. Se puede plantear a los alumnos entonces, que sugieran procedimientos para poder distinguir entre sistemas homogéneos y heterogéneos, entre elementos y compuestos etc. Ello conduce al uso de microscopios, calentamientos, etc, que son actividades que conviene realizar (Ver en el anexo al final del tema, el apartado correspondiente a la separación de sustancias).

A.18. Se calienta agua pura a 100°C en un recipiente cerrado. Señalar cierto o falso en cada una de las siguientes proposiciones:

- El vapor obtenido es una mezcla de hidrógeno y oxígeno.
- El producto obtenido sigue siendo agua.
- Las burbujas que se producen al hervir, son de aire.

A.19. Se quema con una cerilla un poco de alcohol en un plato hasta que no queda nada de líquido. Indica cual de las siguientes proposiciones es correcta:

- Los gases obtenidos son el resultado de la vaporización del líquido. Es decir, seguirán siendo alcohol, pero en estado gaseoso.
- El alcohol es una mezcla de sustancias que se separan cuando se vaporiza.
- Entre los gases obtenidos hay productos diferentes del alcohol, que resultan de combinarse éste con el oxígeno del aire.

Comentarios A.18 y A.19.

Las actividades anteriores guardan relación con los preconceptos que poseen los alumnos sobre elemento, compuesto, etc, y cuando son resueltas por estos, permiten al profesor percatarse sobre la extensión y persistencia de los mismos y actuar consecuentemente.

1.2.2 Los cambios materiales en los procesos químicos.

Aunque el desarrollo inicial de la Química es confuso y aparece relacionado como es lógico con las concepciones vigentes en la época (por ejemplo, la búsqueda de la piedra filosofal o del elixir de la eterna juventud), la hipótesis atómica que hemos desarrollado al estudiar el comportamiento de los gases, jugó también un papel esencial a la hora de explicar importantes hechos que se observaban al estudiar las reacciones químicas, algunos de los cuales veremos a continuación:

A.20. Partiendo de la hipótesis atómica, derivad consecuencias contrastables respecto a las cantidades de sustancias que intervienen en las transformaciones químicas.

Comentarios A.20.

Con esta actividad se trata de establecer dos consecuencias básicas de la hipótesis atómica de la materia:
a) La conservación de la masa. b) La constancia de las proporciones en que intervienen dos o más elementos para formar un compuesto. Conviene una orientación del profesor en la discusión de los alumnos, ya que esta actividad suele resultarles difícil. La conservación de la masa no ofrece dificultades y es propuesta rápidamente por los alumnos, pero no así la constancia de las proporciones. Conviene también hacer aquí alguna referencia a la historia de la Química (trabajos de Lavoisier y Proust, particularmente).

A.21. Un metal cuando se oxida sufre un aumento de masa. Dad una interpretación de este hecho, indicando de que forma podría verificarse que no se contradice el principio de conservación de la masa.

A.22. Diseñad algún montaje sencillo que pueda servirnos para verificar en el laboratorio el principio de conservación de la masa.

Comentarios A.21 y A.22.

Todo el problema de la verificación del principio de la conservación de la masa consiste en conseguir un buen aislamiento y disponer de una balanza lo suficientemente sensible. Para las reacciones en las que no intervienen gases, no existe gran problema. Los alumnos proponen generalmente el pesar los reactivos junto con el recipiente en donde se hallan, y una vez producida la reacción se vuelve a pesar el conjunto.

A.23. Sugerid una experiencia para contrastar experimentalmente la hipótesis de las proporciones constantes.

A.24. Para verificar la hipótesis de las proporciones constantes se ha realizado un análisis de distintas muestras de un compuesto formado por nitrógeno e hidrógeno, obteniéndose los siguientes resultados:

masa de nitrógeno (en g)	5.56	10.88	19.85	29.98	37.59
masa de hidrógeno (en g)	1.19	2.33	4.25	6.42	8.05

a) Interpretar los resultados obtenidos.

b) Calcular la cantidad de nitrógeno que se combinará con un gramo de hidrógeno y cuanto compuesto se obtendrá.

A.25. El compuesto alcohol etílico reacciona con el oxígeno para producir dióxido de carbono y vapor de agua. Se ha determinado experimentalmente que cuando 46.0 g de alcohol etílico reaccionan exactamente con 96.0 g de oxígeno, se forman 54.0 g de agua y una determinada cantidad de dióxido de carbono.

a) Calcular la cantidad de dióxido de carbono que se ha formado.

b) ¿Qué cantidad de oxígeno se necesitará para reaccionar completamente con 8.0 g de alcohol etílico?

Comentarios A.23; A.24 y A.25.

En la A.23 los alumnos suelen referirse a procesos de análisis o síntesis de un compuesto. El profesor puede concretar entonces, proponiendo alguno de fácil realización, por ejemplo: la síntesis del cloruro de cinc. En primer lugar se plantea el problema de su obtención. Los alumnos sugieren normalmente el procedimiento directo (formación del compuesto a partir de cloro y cinc). Una vez discutido y elegido un método más sencillo (cinc con ácido clorhídrico), se procede a diseñar la experiencia. Esta consistiría en hacer reaccionar distintas cantidades conocidas de cinc, con ácido clorhídrico en exceso, calentar para evaporar el ácido que sobre, y volver a pesar. Para interpretar los datos recogidos, se calcularía el cociente entre la masa inicial de cinc, y la del cloro correspondiente en cada caso (obtenida esta última restandole a la masa del cloruro de cinc la del cinc). También puede recurrirse a la representación gráfica de la masa de cloro frente a la del cinc, viendo si sale una línea recta. En caso de no ser posible la realización de ésta práctica -que exige algún tiempo- se puede optar por proporcionar a los alumnos tablas de valores como se hace en la A.24, para que procedan a su interpretación. Es conveniente en cualquier caso, plantear actividades de afianzamiento de las leyes introducidas. Así mismo interesa señalar de forma sencilla y breve, las limitaciones de las mismas, haciendo referencia fundamentalmente a la existencia de compuestos no estequiométricos.

1.3. Hipótesis atómica de Dalton.

A modo de síntesis abordaremos los trabajos de Dalton que, como podrá constatarse, presentan indudables semejanzas con las ideas y resultados obtenidos hasta aquí. Ello será un buen exponente de la validez del trabajo realizado.

A.26. Exposición por el profesor de los trabajos de Dalton.

A.26.(bis). Buscar en algún texto los trabajos de Dalton sobre la hipótesis atómica y comparar con las ideas establecidas hasta aquí.

A.27. Exponed vuestras opiniones sobre la validez actual de la teoría atómica de Dalton.

Comentarios A.26; A-26 (bis) y A-27.

El objetivo de estas actividades es sintetizar todo lo visto, mostrando cómo las ideas expuestas coinciden con las existentes en la hipótesis atómica de Dalton. Respecto a la A-27 en concreto, los alumnos señalan entre otras cosas, que los átomos sí que se pueden destruir (citan los procesos de fisión) y que la fórmula del agua no es HO como proponía Dalton, sino H_2O .

2. DESARROLLO DE LA HIPOTESIS ATOMICA DE DALTON

2.1 Trabajos de Gay-Lussac sobre reacciones químicas.

Gay-Lussac prosiguió su investigación sobre el comportamiento de los gases estudiando los volúmenes de los gases que intervienen en las reacciones químicas. De acuerdo con lo visto sobre el comportamiento de los gases, el estudio de los volúmenes que se combinan, puede dar información sobre la proporción en que se combinan las partículas. Vamos a estudiar pues, algunas reacciones entre gases.

A.28. Partiendo de la ecuación general de los gases, indicar qué relación puede haber entre el número de partículas contenidas en volúmenes iguales de distintos gases a la misma presión y temperatura.

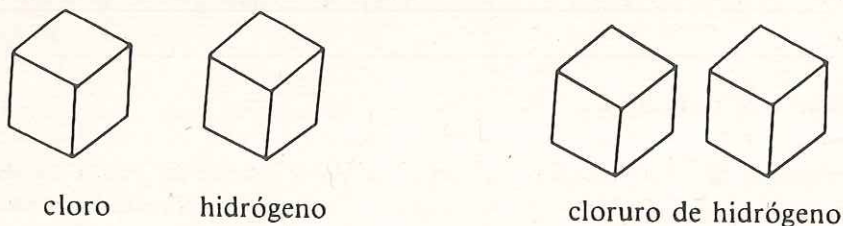
Comentarios A.28.

Los alumnos, partiendo de la ecuación general de los gases enunciada en la A.6 como $PV = KNT$, llegan a enunciar que «el número de partículas contenido en volúmenes iguales de distintos gases que estén a la misma P y T, tiene que ser el mismo. El profesor, en esta actividad, comentará los trabajos de Gay-Lussac y Avogadro durante la primera mitad del siglo XIX, y el interés de los mismos en el establecimiento de la estructura atómico-molecular de la materia. De hecho conviene señalar que Gay-Lussac había constatado que los volúmenes de gases que reaccionan están en una proporción numérica muy sencilla, lo cual se interpreta fácilmente si se supone, como se deriva de las hipótesis hechas hasta aquí, que «volúmenes iguales de diferentes gases en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas». Esto mismo fue postulado por Avogadro, como algo que ayudaba a explicar las reacciones entre gases.

Las relaciones entre volúmenes y partículas permiten estudiar las proporciones de partículas que reaccionan a partir de las relaciones de volúmenes observadas. En ello reside el interés de los trabajos de Gay-Lussac.

A.29. Al realizar Gay-Lussac sus experiencias se encontró con que al estudiar la reacción entre el cloro e hidrógeno gaseosos en determinadas condiciones de presión y temperatura, ocurría que:

Cada volumen de cloro que reaccionaba, lo hacía con un volumen igual de hidrógeno y se obtenían dos volúmenes de cloruro de hidrógeno, tal y como se indica esquemáticamente en la figura:



a) Deducid la relación entre el número de partículas de los distintos gases que intervienen en la reacción propuesta.

b) ¿Cuales podrían ser las fórmulas del hidrógeno, cloro y cloruro de hidrógeno para que se cumplan las proporciones establecidas?

Comentarios A.29.

El objetivo fundamental de esta actividad, es que los alumnos vean la necesidad de que tanto el hidrógeno como el cloro, estén formados por agregados de (al menos) dos átomos H_2 y Cl_2 y no por átomos sueltos de H y de Cl , como sugería la hipótesis de la máxima simplicidad de Dalton. De hecho, los mismos alumnos, piensan a menudo que el hidrógeno, cloro, nitrógeno etc están formados por partículas monoatómicas. Las limitaciones de estas ideas, deben ser resaltadas por el profesor, que utilizando esta y las dos actividades siguientes, se referirá a la importancia de los trabajos de Gay-Lussac para establecer las fórmulas correctas de muchos compuestos e insistir en su significado.

A.30. Interpretar la siguiente reacción, escribiendo la ecuación química correspondiente:
«Por cada litro de nitrógeno gas que se combina con tres litros de hidrógeno gas, se obtienen dos litros de amoníaco gas, a presión y temperatura constantes».

A.31. Interpretar la siguiente reacción, escribiendo la ecuación química correspondiente:
«Por cada dos volúmenes de hidrógeno gaseoso, que se combinan con un volumen de oxígeno gaseoso, se obtienen dos volúmenes de agua gas a presión y temperatura constantes».

2.2. Determinación de masas atómicas relativas.

La interpretación de los datos volumétricos mediante las ideas de Avogadro permitía establecer las fórmulas de los compuestos basándose en datos experimentales, y de este modo, como veremos a continuación, se pudieron comparar las masas de los átomos de los distintos elementos.

A.32. Al descomponer 0.365 g de cloruro de hidrógeno (HCl), se ha obtenido 0.355 g de cloro y 0.010 g de hidrógeno. Por otra parte, como ya hemos visto antes, en el cloruro de hidrógeno, por cada átomo de hidrógeno hay un átomo de cloro. ¿Cuántas veces es mayor la masa del átomo de cloro que la del hidrógeno?

A.33. Cuando se obtiene amoníaco, se comprueba que cada gramo de hidrógeno que reacciona lo hace con 4.67 g de nitrógeno. Por otra parte sabemos que en el amoníaco (NH_3), por cada tres átomos de hidrógeno hay un átomo de nitrógeno. Con los datos anteriores, calcular cuántas veces es mayor la masa del átomo de nitrógeno que la del hidrógeno.

A.34. Cuando decimos que la masa atómica relativa del oxígeno es 16, queremos decir que:
a) Un átomo de oxígeno tiene una masa de 16 g.
b) 16 átomos de oxígeno pesan 1 g.
c) Otra respuesta (especificar)

Otro problema que tiene fácil solución es el cálculo de las masas moleculares de los elementos y los compuestos. Solamente se necesita conocer las fórmulas de las moléculas de dichas sustancias.

A.35. Buscando los datos necesarios, calculad la masa molecular relativa de los siguientes compuestos:
a) monóxido de carbono: CO
b) butano: C_4H_{10}
c) sulfato de aluminio: $Al_2(SO_4)_3$

Comentarios A.32; A.33; A.34 y A.35.

Con el establecimiento de las fórmulas correctas para los compuestos se dispone del instrumento adecuado para determinar las masas atómicas y moleculares relativas, que es lo que se propone en estas actividades. La A.32, no ofrece ningún problema para los alumnos, ya que la proporción es de un átomo de cloro por cada átomo de hidrógeno. Sin embargo la A.33, exige un mayor esfuerzo, ya que los alumnos han de darse cuenta en este caso que cada átomo de nitrógeno tiene una masa 4.67 veces mayor que TRES átomos de hidrógeno. Estos razonamientos cualitativos pueden ser apoyados después mediante sencillos cálculos matemáticos. Hemos considerado conveniente en este nivel el comenzar por utilizar como patrón comparativo para las masas atómicas relativas, la masa del átomo de hidrógeno, señalando que actualmente dicho patrón es otro (el isótopo del átomo de carbono, ^{12}C). Además, dado que se van a

manejar compuestos, que no presentan moléculas, se debe insistir en el significado que puede tener la masa molecular relativa para este tipo de compuestos. La actividad A.34, sirve para detectar ciertas confusiones en torno al significado de la masa atómica y también algunos errores metodológicos cometidos a menudo por los alumnos, consistentes en no analizar mínimamente la validez de un resultado, ni siquiera viendo si es o no lógico el valor numérico obtenido. Con este mismo fin se propone la actividad siguiente.

A.36. ¿Qué quiere decir que la masa molecular del agua es 18?

2.3. Ensayos de ordenación de los elementos: El sistema periódico.

A lo largo del siglo XX fue aumentando el número de elementos conocido y determinándose con más precisión sus propiedades. Se observaron así semejanzas en el comportamiento químico de algunos elementos, hasta el punto de atribuirles carácter de «familias», por ejemplo los halógenos o formadores de sales (F, Cl, Br, I). Esto hizo pensar en la posibilidad de una clasificación de los elementos que diera cuenta de las semejanzas y diferencias de comportamiento observado.

Por otra parte, el avance realizado en la determinación de masas atómicas, proporciona una base cuantitativa para distinguir unos elementos de otros para su ordenación.

Se realizaron varios intentos de ordenación, basados en general en las semejanzas de propiedades químicas y físicas, y también en las masas atómicas. Sin embargo la mayor aportación la realizó Dimitri Ivanovich Mendeléeff (1834-1907) que recoge todos los trabajos de la época y establece una ordenación que, según sus propias palabras, se basa en los siguientes conceptos:

«La clasificación más corriente de los elementos en metales y no metales está basada en las diferencias físicas entre ellos, pero dicha división no es tan nítida como parecía. Por ejemplo, el fósforo y otros elementos, actúan como metales o como no metales, según las ocasiones... Algunos grupos de elementos, sin duda, forman un todo y representan una serie natural de manifestaciones semejantes de la materia (halógenos, grupo del nitrógeno, alcalino-térreos etc), pero el descubrimiento de nuevos elementos tales como el rubidio, el cesio y el talio, para los que no se había previsto sitio en las familias de elementos hasta entonces elaboradas, indicaba lo limitados que eran nuestros conocimientos... Por otra parte, las propiedades físicas de los elementos, tales como las ópticas, eléctricas, magnéticas etc, no pueden servir como guía para una clasificación de los mismos, pues aunque muchas de dichas propiedades se han determinado con precisión para algunos de ellos, lo cierto es que un mismo elemento, puede presentar enormes diferencias en sus propiedades según el estado en que se encuentre. Así por ejemplo podemos citar el caso del grafito y el diamante.

Sin embargo a pesar de las diferencias entre las propiedades que un elemento puede presentar, según el estado en que se encuentre, existe «algo» que no cambia, que nos permite afirmar que se trata del mismo elemento... En este sentido, el único valor que no cambia, que es el mismo tanto en el elemento libre (cualquiera que sea su estado), como cuando se haya combinado con otros formando compuestos, es la masa atómica del elemento. Por esta razón, me he ocupado de buscar un sistema de clasificación de los elementos químicos, basándome en las masas atómicas. El primer intento que hice en esa dirección fue el siguiente: Seleccioné los elementos de masa atómica más pequeña y los ordené de manera creciente. Con esto vi que aparecía una periodicidad en sus propiedades...»

A.37. Analizar el texto de Mendeléeff y extraer las ideas más importantes

A.38. Los elementos más ligeros conocidos en la época de Mendeléeff eran los que se indican en la tabla, junto a sus masas atómicas relativas:

<u>Elemento</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Masa atómica</u>	<u>Elemento</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Masa atómica</u>
Hidrógeno	H	1	Sodio	Na	23
Litio	Li	7	Calcio	Ca	40
Berilio	Be	9	Aluminio	Al	27
Boro	B	11	Silicio	Si	28
Nitrógeno	N	14	Cloro	Cl	35.5
Flúor	F	19			

Ordenar -siguiendo las ideas de Mendeléeff- dichos elementos según sus masas atómicas crecientes,

e intentar encontrar alguna regularidad que de cuenta de las semejanzas que experimentalmente se encuentran entre: Li y Na; F y Cl; N y P. ¿Qué otros elementos según esta ordenación deberían tener comportamientos semejantes?

Comentarios A.38.

Esta actividad permite contrastar la validez de la intuición sobre la existencia de un cierto orden entre los elementos. Se intenta que los alumnos establezcan no sólo esa ordenación teniendo en cuenta las semejanzas entre Li y Na, etc, sino que predigan también que el C y Si han de pertenecer a la misma familia (y lo mismo el Be y Ca, etc), mientras que el H queda como elemento «aislado». Se puede ahora plantear una de las dificultades que Mendeléeff salvó brillantemente y que los mismos alumnos también llegan a resolver (ver actividad siguiente).

A.39. Al ordenar los elementos químicos entonces conocidos, según su masa atómica creciente, Mendeléeff se dio cuenta de que el titanio (Ti) que tiene propiedades similares al carbono (C), y al silicio (Si), (grupo IV), caía sin embargo en el grupo III (boro y aluminio) repitiéndose la situación con los elementos que seguían al Ti, cuyas propiedades cuadraban más con las del grupo siguiente que con las del que caían. Este mismo problema se le planteó posteriormente con otros elementos. Dar una posible explicación que justifique este hecho.

Comentarios A.37; A.38 y A.39.

El texto de Mendeléeff ofrece un ejemplo más de que la Química, no queda limitada al estudio descriptivo de los elementos químicos y sus compuestos; con una mera catalogación de observaciones no construimos una ciencia. Se pretende encontrar un orden y simplicidad en el aparentemente complejo mundo de las sustancias químicas. Se agrupan los elementos por propiedades análogas y se buscan las causas de esas semejanzas, en un intento de encontrar normas para una ordenación sistemática de los elementos. Mendeléeff no se hacía ilusiones de encontrar por qué los elementos se ordenaban de aquella manera, pero creía firmemente que su trabajo conduciría a una explicación, y que entre tanto podría concentrarse el interés en la determinación de masas atómicas, en el descubrimiento de nuevos elementos (tuvo que dejar huecos en su sistema periódico) y en el hallazgo de nuevas analogías entre los mismos. Los alumnos no suelen tener problemas en la resolución de las actividades. En la A-39, aparece fácilmente la idea de que el lugar en donde había caído el Ti, correspondía a un elemento todavía por descubrir (el Sc). El profesor puede confirmar la validez de la explicación y comentar además que estudiando las propiedades de los elementos de alrededor de los huecos, Mendeléeff pudo incluso, hacer acertadas hipótesis sobre las propiedades y características de los elementos aún no descubiertos, que los habrían de ocupar... Conviene presentar a los alumnos en este momento la tabla de Mendeléeff.

3. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.40. Una de las propiedades más conocidas del aire es su compresibilidad (que consiste en la reducción del volumen que ocupa, al presionar sobre él, como se comprueba fácilmente con una jeringuilla). Esto se interpreta correctamente diciendo que: (señalar la respuesta correcta).

a) El aire es como una esponja (todo continuo), que al presionar se reduce.



b) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar disminuyen de tamaño.



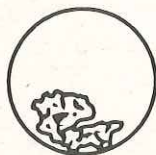
c) Son las partículas las que al ser comprimidas se reducen de tamaño.



A.41. Experimentalmente se observa que al calentar mucho el hierro, se pone al rojo vivo y finalmente se funde. Este fenómeno se produce porque: (Escribir verdadero o falso a la derecha de cada proposición).

- a) Las uniones entre los átomos de hierro cambian, de forma que se debilitan, muchas se rompen etc.
 b) Los átomos de hierro inicialmente duros, se hacen cada vez más blandos conforme va aumentando la temperatura.

A.42. Dentro de una esfera cerrada y transparente hay un trozo de papel, como se indica en la figura adjunta. Mediante una lupa hacemos arder totalmente el papel. Si pesamos todo el recipiente antes (1) y después (2) de la combustión, resultará que (señala con una cruz la propuesta correcta):



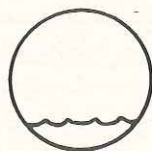
(1)



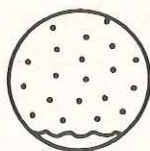
(2)

- a) El peso de (1) será menor que el de (2).
 b) El peso de (1) será igual que el de (2).
 c) El peso de (1) será mayor que el de (2).

A.43. La figura A, representa una esfera conteniendo en su interior 20 g de agua líquida. A continuación se calienta el agua hasta conseguir que toda ella se encuentre en estado gaseoso (figura B). Señalar con una cruz la proposición más correcta:



A)



B)

- a) B pesará lo mismo que A. b) B pesará un poco menos. c) B pesará 20g menos.

Comentarios A.41; A.42; A. 43 y A.43

Las cuatro actividades anteriores inciden sobre conocidos preconceptos que pueden afectar a los alumnos, y se han puesto aquí como actividades complementarias para que el profesor haga uso de ellas cuando convenga.

A.44. Haced una síntesis del tema remitiendo a las actividades.

A.45. Enunciar los aspectos de la metodología científica que se han practicado en este tema, citando las actividades correspondientes.

A.46. Confeccionar una lista de los términos científicos que se han manejado en el presente tema, indicando brevemente el significado de los mismos.

4. ANEXO: TECNICAS BASICAS DEL LABORATORIO QUIMICO

Las 46 actividades anteriores, constituyen esencialmente el programa guía para comenzar el estudio de la estructura de la materia como primer tema de Química. En dicho tema se ha resaltado el importante papel que en el establecimiento de la estructura atómico-molecular de la materia, jugó toda la información química acumulada durante siglos. Sin embargo, el trabajo de los químicos e incluso de los alquimistas, no solo se tradujo en proporcionar una serie de conocimientos, sino también en la puesta a punto de toda

una gama de técnicas básicas de laboratorio, sin cuyo desarrollo no hubiese sido posible avanzar. La familiarización con los instrumentos y técnicas más usuales en un laboratorio químico, ha de ser precisamente uno de los objetivos básicos en un curso de iniciación a la Química. A continuación se plantean, con este propósito, una serie de problemas concretos que conducirán a diseñar los instrumentos apropiados e idear las técnicas necesarias para su resolución. Todo ello, naturalmente, sin ningún ánimo exhaustivo y conscientes de que son posibles numerosas variantes. Se trata pues de una propuesta abierta que puede ser enriquecida y adaptada a las distintas circunstancias de cada laboratorio y nivel. Además, las actividades han de ir desarrollándose a lo largo de un amplio período, introduciéndolas cuando se considere oportuno, sin pretender realizarlas todas de forma consecutiva al final de este tema. Los problemas que nos hemos planteado son:

- a) Medida de volúmenes.
- b) Calentamiento uniforme de sustancias.
- c) Separación de sustancias.
- d) Determinación de masas.
- e) Preparación de disoluciones de concentración conocida.
- f) Trabajo con tubo y varilla de vidrio.

a) Medida de volúmenes.

A.47. La medida de volúmenes de líquidos, disoluciones, etc... constituye una de las actividades más frecuentes en el laboratorio químico. Para ello se utilizan diversos instrumentos según las cantidades manejadas, grado de precisión exigido, etc. Con objeto de facilitar la familiarización con el uso de dichos instrumentos proponer el diseño de sendos utensilios para:

1. Medida de cantidades variables de por ejemplo hasta 200 cc (170 cc, etc).
2. Medida de pequeñas cantidades variables, de por ejemplo hasta 10 cc (2 cc, 6 cc, etc).
3. Medida lo más precisa posible, de una cantidad fija y grande, como por ejemplo 250 cc.
4. Medida precisa de cantidades pequeñas, de por ejemplo hasta 50 cc (17.3 cc, 44.6 cc, etc).

A.48. Proceded al manejo de los instrumentos diseñados.

A.49. Estimar aproximadamente la capacidad de algunos recipientes y proceder a su determinación precisa utilizando los instrumentos adecuados.

Comentarios A.47; A.48 y A.49.

Con la A.47, se consigue que los alumnos «reinventen» la probeta, el matraz aforado, la pipeta y la bureta. A continuación se pueden proporcionar dichos instrumentos para su manejo reiterado, así como frascos vacíos de distinta capacidad pidiéndoles una estimación de la misma y por último, proceder a su determinación precisa. Las principales dificultades aparecen en torno al enrase correcto, así como a la forma adecuada de realizar la lectura. Por lo demás se trata de actividades que no presentan mayor problema.

b) Calentamiento uniforme de sustancias.

A.50. Proponer una técnica para el calentamiento suave de un recipiente que contiene sustancias que no deben ser sometidas a sobrecalentamientos locales.

Comentarios A.50.

Los alumnos proponen una calefacción indirecta, introduciendo el recipiente en otro que contenga agua, es decir, lo que se conoce como el «baño maría». El profesor puede referirse al «baño de arena» para temperaturas superiores. En esta misma actividad puede plantearse la forma de calentar un tubo de ensayo directamente, evitando los excesivos sobrecalentamientos y consiguientes proyecciones. Conviene que los alumnos adquieran práctica manejando los tubos de ensayo con pinzas de madera. Así mismo se aprovechará la ocasión para aprender a manejar el mechero Bunsen (entrada de gas-aire, partes de la llama, etc), resolver problemas tales como por ejemplo la forma de evitar el ennegrecimiento de los tubos de ensayo, etc.

c) Separación de sustancias.

Dado que la mayor parte de sustancias aparecen mezcladas o disueltas, uno de los primeros trabajos de la Química, desde el punto de vista histórico, ha sido su separación y purificación en orden a posibilitar su estudio. A continuación veremos algunos problemas de separación, sobre los que conviene detenerse.

A.51. Sugerir algún procedimiento para separar las sustancias que componen la mezcla suministrada por el profesor. Se trata concretamente de quitar la sustancia negra (polvo de hierro) hasta que quede solamente la amarilla (azufre en polvo). Proceder a realizar la separación.

Comentarios A.51.

Los alumnos con bastante rapidez se refieren a la posibilidad de utilizar un imán para separar el hierro. El profesor puede resaltar cómo cada componente de la mezcla sigue conservando las mismas propiedades físicas que cuando estaba sólo, y a continuación se puede proceder a combinar ambos elementos haciéndolos reaccionar calentando suficientemente la mezcla y comprobar cómo se forma un compuesto (sulfuro de hierro) en dónde ya no se detectan las propiedades que los elementos tenían cuando estaban aislados o mezclados.

A.52. Sugerir algún procedimiento para separar las sustancias que se encuentran mezcladas en la muestra proporcionada por el profesor. Se trata de eliminar la sustancia blanca hasta dejar únicamente la otra. ¿Cómo tener la seguridad de haber eliminado totalmente la sustancia blanca?. Proceded a realizar la separación en el laboratorio.

Comentarios A.52.

Se trata de proporcionar a los alumnos una mezcla de arena y sal común. Como es lógico, la apariencia de las sustancias proporcionadas -que son fácilmente reconocidas- sugiere el tratamiento con agua, donde una de las sustancias es soluble y la otra no. A partir de aquí, la filtración es la técnica ordinariamente propuesta por los alumnos. En ocasiones se sugiere la decantación previa. Es conveniente aprovechar la ocasión para que los alumnos se familiaricen con la confección de filtros (pliegue y normal). Respecto a cómo averiguar que no queda sal en la arena, es frecuente la propuesta de recurrir al sabor del filtrado. Ello permite al profesor realizar algunas puntualizaciones:

a) Los peligros del «sabor» como técnica de análisis.

b) La escasa fiabilidad de dicha técnica: el agua potable contiene cantidades apreciables de cloruro de sodio que el sabor no permite reconocer.

Conviene pues recurrir a otros procedimientos. Si no lo hacen los alumnos, el profesor puede sugerir el utilizar alguna sustancia que dé con el cloruro de sodio algún color característico o algún precipitado, etc. Este será en general el procedimiento seguido. En este caso concreto, puede utilizarse el nitrato de plata.

A.53. Muy a menudo hay que recurrir a las propiedades de las sustancias para proceder a su separación. Estas propiedades suelen recopilarse en los llamados «libros de datos». A partir de la siguiente información obtenida en un libro de datos, describid qué haríais para separar una mezcla de cloruro de sodio y cloruro de amonio:

sustancia	fórmula	solubilidad	punto de fusión	aspecto
cloruro de sodio	NaCl	35	801°C	cristales blancos
cloruro de amonio	NH ₄ Cl	37	sublima a 350°C	cristales blancos

(La solubilidad viene dada en g de soluto en 100 g de agua)

Comentarios A.53.

Si un componente de una mezcla presenta sublimación, esta propiedad puede ser utilizada para separarlo del resto de los componentes. Calentando pues, adecuadamente la mezcla proporcionada, en una campana extractora, los vapores blancos serán el cloruro de amonio, y el residuo sólido restante será cloruro de sodio.

- A.54. El vino contiene, fundamentalmente, alcohol etílico y agua, líquidos que son perfectamente miscibles, y pequeñas cantidades de otras sustancias disueltas.
- Indicar un procedimiento para separar el alcohol de sus restantes componentes.
 - Proceded a la destilación del vino, diseñando previamente con detalle el dispositivo adecuado.

Comentarios A.54.

La idea de proceder a hervir el vino y condensar sus vapores, suele aparecer sin dificultad. Es necesario que el profesor indique que una destilación no conduce a una separación total, obteniéndose, eso sí, una mezcla más rica en alcohol. Puede hacerse referencia a las torres de destilación, mostrar esquemas, fotos, etc.

- A.55. La cromatografía es una técnica de separación de sustancias basada en la distinta rapidez de avance de los componentes de una disolución a lo largo de materiales porosos como el papel, parcialmente sumergidos en la disolución. Comprobar mediante separación cromatográfica, que la tinta de bolígrafo es una mezcla de sustancias. Utilizar para ello simplemente una tira de papel de filtro colocada verticalmente sobre una probeta que contenga etanol-agua (al 50%) y situar una gota de tinta en la parte baja de la tira. Describir lo que se observa.

- A.56. Sugerir algún procedimiento para separar completamente los dos líquidos inmiscibles que contiene el frasco proporcionado, evitando al máximo las pérdidas.

Comentarios A.55 y A.56.

Con la A.55, se hace referencia a las técnicas cromatográficas, se trata de una experiencia de resultados muy claros. En la A-56, se puede proporcionar una mezcla de aceite y agua. Aunque la simple decantación desde el frasco aparece como la respuesta más habitual, hay también propuestas más elaboradas, como la de utilizar un embudo provisto de llave.

- A.57. Proponer una técnica de obtención de cristales puros de sulfato de cobre, partir de polvo de la misma sustancia, mezclado con otros sólidos insolubles.

Comentarios A.57.

Las propuestas de los alumnos giran entorno a la preparación de disoluciones que se dejarían en reposo para que cristalizara el sulfato de cobre disuelto. El profesor puede añadir más información, señalando la conveniencia de que dichas disoluciones sean sobresaturadas, se dispongan en recipientes adecuados (cristalizadores), etc

d) Determinación de masas.

La balanza es un instrumento fundamental en un laboratorio de Química, por lo que es necesario conocer su manejo:

- A.58. Se desea pesar 2.25 g de sal común. Imaginad algún procedimiento cómodo y suficientemente preciso para hacerlo.

Comentarios A.58.

Se trata de proporcionar a los alumnos algunas muestras para que las pesen, haciendo algunas consideraciones sobre la forma de pesar: Por ejemplo: ¿Se debe pesar poniendo la muestra directamente sobre el platillo?. ¿Cómo pesar una sustancia higroscópica?. Utilización del pesasustancias, de la espátula etc.

e) Preparación de disolventes de concentración conocida.

- A.59. Indicar detalladamente cómo podríamos preparar una disolución de cloruro de sodio cuya concentración sea de 12 g de cloruro de sodio por litro de disolución.

Comentarios A.59.

Las propuestas iniciales de los alumnos suelen contener errores más o menos graves (desde la utilización de una probeta en vez de un matraz aforado, a añadir los gramos de sal a 1 litro de agua o bien añadir 12 g de sal a 988 cc de agua, etc), que han de ser corregidos en la discusión.

f) Trabajo con tubo y varilla de vidrio.

Muchas de las conexiones que aparecen en los montajes de laboratorio son de vidrio, por lo que es conveniente saber trabajarlo. Así por ejemplo para recoger gases necesitamos tubos doblados, para calcular puntos de fusión necesitamos capilares, etc

A.60. Cortar tubo de vidrio. Doblar vidrio en ángulo recto y en ángulo menor. Construir capilares. Redondear y aplanar varillas.

Comentarios A.60

El trabajo con vidrio es muy interesante, ya que forma parte de muchos diseños experimentales que se pueden proponer para llevar a cabo determinadas reacciones químicas. De esta forma el material que los alumnos pueden elaborar aquí, puede utilizarse en prácticas posteriores.

PRIMERAS CONCEPCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA DEL ATOMO

INTRODUCCION

Hemos estudiado en el capítulo anterior el largo proceso que condujo al establecimiento de la estructura atómica de la materia, en la que encontraban justificación numerosos fenómenos que iban desde el comportamiento de los gases a las leyes ponderales y volumétricas que rigen las reacciones químicas. La ordenación periódica de los elementos, utilizando como dato las masas atómicas relativas, supuso una brillante confirmación de la existencia de los átomos. Pero toda una serie de hechos ponían en cuestión la imagen simplista de inmutabilidad de estos átomos, postulada inicialmente por Dalton.

A.1. Señalar algunos hechos que cuestionen la idea de que los átomos son simples partículas indivisibles, sin estructura ni componentes internos.

Comentarios A.1.

Los alumnos pueden referirse al estudio del comportamiento eléctrico de la materia, que había llegado a mostrar la posibilidad de extraer electrones de cualquier sustancia sugiriendo así que estos electrones son parte constituyente de los átomos. El profesor puede proporcionar información de otros hechos como la radiactividad o los espectros característicos emitidos por las sustancias en estado gaseoso.

La idea de unos átomos complejos, con estructura interna, fue así afirmándose. En este capítulo estudiaremos los primeros intentos de establecer dicha estructura, de acuerdo con el siguiente índice:

INDICE

1. Algunos hechos que pusieron en cuestión el modelo atómico de Dalton
2. Descripción de los primeros modelos atómicos.
 - 2.1. Modelo atómico de Thomson
 - 2.2. Intento de contrastación del modelo de Thomson. Experiencia de Rutherford.
3. El triunfo de las Ciencias físicas.

1. ALGUNOS HECHOS QUE PUSIERON EN CUESTION EL MODELO ATOMICO DE DALTON.

Como ya hemos señalado en A.1. uno de los hechos que más claramente evidencian que los átomos no pueden considerarse partículas simples indivisibles y sin estructura interna, es la capacidad de las sustancias para absorber y emitir luz. Particularmente interesantes son los espectros luminosos emitidos por gases que tienen la particularidad de ser discontinuos (solo aparecen determinados colores del espectro) y característicos de cada sustancia

A.2. ¿Cómo conseguir que una gas emita luz?

Comentarios A.2.

Los alumnos sugieren calentar los gases o someterlos a descargas eléctricas, el profesor puede aclarar que no es siempre necesario tener la sustancia en estado gaseoso: colocando polvo de una sustancia (o gotas de una disolución) sobre la llama se consigue una fácil vaporización.

- A.3. Tomar muestras de diversas sustancias proporcionadas por el profesor y ponerlas en la llama de un mechero. Observar la coloración que adquiere la llama en cada caso.
- A.4. Para estudiar la luz característica emitida por un elemento, se necesita un experimento mejor que una llama observada por el ojo humano. Analizar mediante un espectroscopio elemental (cuyo fundamento será explicado por el profesor) la luz emitida por diferentes sustancias: filamento de una bombilla, un tubo que contiene gas neón, otro mercurio, etc. y establecer semejanzas y diferencias entre los espectros de gases y sólidos

Comentarios A.3 y A.4

Las sustancias proporcionadas por el profesor podrían ser por ejemplo: cloruro de sodio, cobre en polvo, cloruro de estroncio, cloruro de litio, etc. A simple vista se puede observar que cada sustancia emite luz con un color característico y con los espectroscopios (o simplemente una red de difracción) los alumnos pueden constatar el carácter discontinuo y característico de los espectros emitidos por los gases (a diferencia del carácter continuo e idéntico de los sólidos). Puede ser útil también manejar fotografías de espectros obtenidas con espectroscopios de calidad.

- A.4.bis Hemos visto que la luz emitida por los sólidos o líquidos es un espectro continuo (como el de la luz solar) en el que están presentes todos los colores, es decir, luz de todas las frecuencias, mientras que los gases sólo emiten determinados colores, proporcionando un espectro discontinuo y característico. De acuerdo con ello ¿qué puede decirse a título de hipótesis acerca de la luz que podrán absorber las sustancias en estado sólido (o líquido) y gaseoso?.

Comentarios A.4. (bis)

Con esta actividad se puede introducir a los alumnos a los espectros de absorción y concluir que los átomos sólo absorben y emiten luz de determinadas frecuencias o, dicho de otro modo sólo pueden absorber o emitir determinadas cantidades de energía. Los espectros discontinuos se convirtieron así en un problema que debía encontrar solución en la estructura del átomo. Conviene insistir en lo sorprendente que resultaba este hecho que chocaba con todo lo que se sabía hasta el momento. Es decir, conviene hacer hincapié en el dramatismo y conmoción del mundo científico, incluso en las dudas y en el rechazo, no en valde se pensaba que «Natura non saltus Facit» (Newton dixit).

El carácter específico de los espectros discontinuos de las sustancias en estado gaseoso hizo concebir la posibilidad de utilizar dichos espectros como técnica de identificación de sustancias. Se inició así lo que se conoce como análisis espectral que pronto se convertiría en un potente instrumento de análisis, permitiendo incluso el descubrimiento de elementos hasta entonces desconocidos. Pero aquí interesa sobre todo destacar el hecho de que estos espectros emitidos por los átomos resultaban difícilmente compatibles con la idea de átomos simples, sin estructura interna.

Nos referiremos ahora brevemente a otro de los hechos que pusieron en cuestión la idea de átomos indivisibles y sin estructura interna

- A.5. Breve exposición del profesor sobre la radiactividad.

Comentario A.5.

Esta actividad, además de contribuir de manera decisiva a mostrar la divisibilidad de los átomos, permite introducir y caracterizar los tres tipos de radiación (fundamentalmente las partículas alfa), haciendo posible la comprensión del experimento de Rutherford (ver A.8)

2. DESCRIPCION DE LOS PRIMEROS MODELOS ATOMICOS.

Pasaremos a continuación a considerar los primeros modelos elaborados para justificar el comportamiento de los átomos, teniendo en cuenta la naturaleza eléctrica de la materia, espectros de emisión, etc.

2.1. El modelo atómico de Thomson.

Thomson fue el primero en aportar pruebas experimentales de la existencia de partículas subatómicas iguales para todos los átomos, los electrones, de los que determinó la relación entre la masa y la carga.

Posteriormente propuso un modelo para el átomo teniendo en cuenta que: 1) la materia se presenta neutra, lo que supone que junto a los electrones los átomos han de contener materia cargada positivamente 2) los electrones pueden ser extraídos con facilidad de los átomos de cualquier sustancia, pero la extracción de cargas positivas es un hecho extremadamente difícil (asociado tan sólo al fenómeno de la radiactividad).

A.6. Partiendo de los hechos conocidos sobre el comportamiento de los átomos, Thomson concibió un modelo elemental del átomo constituido por una masa positiva ocupando todo el átomo -lo que se traduce en una densidad muy pequeña- y los electrones distribuidos en dicha masa en determinadas posiciones de equilibrio.

- Representar de acuerdo, con las ideas de Thomson el átomo más elemental, el hidrógeno.
- Dar cuenta, utilizando el modelo de Thomson, de las siguientes propiedades de los átomos: facilidad para arrancar electrones, dificultad de arrancar cargas positivas, y emisión de luz.

Comentarios A.6.

El modelo de Thomson es posiblemente el más sencillo concebible. De hecho, es sugerido por los alumnos más jóvenes cuando no conocen el modelo nuclear. Sin embargo los alumnos de enseñanza media están familiarizados con el modelo planetario y no tiene sentido proponerles que sugieran un modelo. Más interés tiene pedirles que profundicen en los distintos modelos pidiéndoles que interpreten los hechos. El modelo de Thomson (cuya descripción detallada puede verse, p.e. en Holton y Roller 1963) permite interpretar la liberación de electrones por acciones externas como frotamiento etc. Por otra parte, al pasar cerca del átomo una carga eléctrica actuaría sobre el electrón desplazándolo de su posición de equilibrio y, una vez alejada la carga, el electrón recuperaría su posición inicial describiendo un movimiento vibratorio durante el cual emitiría luz, por encontrarse acelerado.

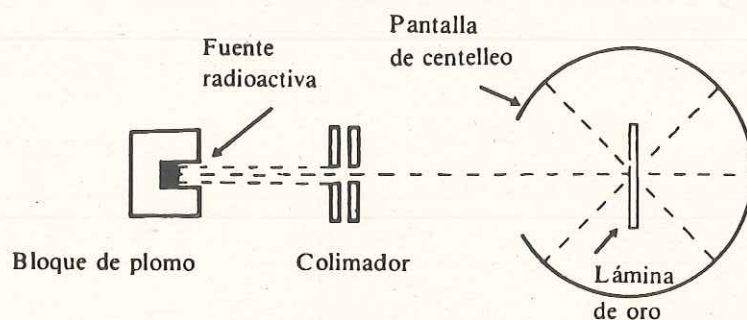
De una manera cualitativa, pues, el modelo podía dar cuenta de algunos hechos experimentales como la emisión de luz por los átomos, lo que le valió cierta aceptación.

2.2. Intento de contrastación del átomo de J.J.Thomson. Experiencia de Rutherford.

El descubrimiento de la radiactividad de algunos elementos como el radio proporcionaba la posibilidad de bombardear la materia con partículas alfa cargadas positivamente y muy rápidas para comprobar la validez del átomo de Thomson.

A.7. Rutherford concibió un experimento que consistía en lanzar partículas alfa (iones positivos de helio) contra una finísima película de oro y otros metales. Las desviaciones de las partículas podían observarse por los destellos que producían al chocar sobre una pantalla de sulfuro de cinc (ver figura). Analizar según el modelo de Thomson qué cabe esperar de la experiencia de Rutherford.

figura 1



Comentarios A.7

Es importante que quede claro que, según el modelo de Thomson -que supone una masa positiva de baja densidad y los electrones distribuidos en dicha masa- caben esperar pequeñas desviaciones de las partículas alfa.

A.8. Los resultados obtenidos en la experiencia de Rutherford fueron los siguientes:

- La mayor parte de las partículas atravesaban la lámina metálica sin sufrir desviaciones.
- un número muy reducido de partículas sufrían fuertes desviaciones, llegando en algunos casos a retroceder.

Proponer un nuevo modelo para la estructura interna del átomo que tenga en cuenta los resultados de la experiencia de Rutherford.

- A.9. A continuación transcribimos un párrafo de las notas tomadas por Rutherford sobre su trabajo. Comentar dicho texto comparando las ideas en él expuestas con las alcanzadas en la actividad anterior:

«Había observado la dispersión de partículas, y el Dr Geiger, en mi laboratorio, la había examinado detenidamente. Encontró que la dispersión producida por piezas de metal delgadas era generalmente pequeña, del orden de un grado. Un día Geiger vino y me dijo: ¿no cree usted que el joven Marsden, a quien he preparado en los métodos radiactivos, debía empezar una pequeña investigación?. Yo había pensado lo mismo y le dije: ¿Por qué no le dejamos ver si las partículas pueden sufrir una gran dispersión con un gran ángulo?. Debo decirle en confianza que yo no lo creo, puesto que las partículas son muy rápidas, de gran masa y gran energía (cinética), y si la dispersión fuera debida a la acumulación de pequeñas dispersiones, la probabilidad de que fuese dispersada en retroceso sería muy pequeña. Recuerdo que dos o tres días después vino Geiger con una gran excitación y me dijo: «Hemos logrado obtener el retroceso de algunas partículas. Es lo más increíble que me ha sucedido en mi vida. Casi tan increíble como si usted disparase con una bala de 15 pulgadas contra un papel de seda y el proyectil se volviese contra usted. Al considerar el fenómeno, llegué a la conclusión de que el retroceso debía ser el resultado de una simple colisión, y al hacer los cálculos vi que era imposible obtener aquel orden de magnitud, a no ser que se considere un sistema en que la mayor parte de la masa del átomo se encuentre concentrada en un pequeño núcleo. Fue entonces cuando tuve la idea del átomo formado por un núcleo masivo como centro y con carga» (Macmillan, 1938).

- A.10. Mediante los resultados obtenidos con el experimento de Rutherford se pudo determinar la carga del núcleo (y por tanto el número de electrones) de una serie de elementos. En todos los casos se constató que el valor de dicha carga del núcleo coincidía con el número de orden del elemento en el sistema periódico, o sea con su número atómico (Z).
Estudiar las implicaciones de dicho resultado.

Comentarios A.8, A.9, A.10.

El análisis de la experiencia de Rutherford según el modelo de Thomson puede ser realizado correctamente por los alumnos, llevándoles a concebir un nuevo modelo que consiste en un átomo prácticamente vacío con un núcleo central y electrones girando alrededor. Este modelo daba además una base a la ordenación de los elementos en el S.P. (que hasta entonces había sido una ordenación completamente empírica) según su carga nuclear.

De nuevo hemos de señalar el «dramatismo» con que fueron asumidos estos trabajos por la comunidad científica, la excitación que produjo encontrar que la carga del supuesto núcleo coincidía con el mismo número atómico (lo que se convertía tanto en un apoyo del modelo nuclear como en una fundamentación del sistema periódico).

El texto de Holton Roller (1963) y algún texto de Historia de las Ciencias puede ayudar a transmitir el impacto de estos avances. Se trata en definitiva de evitar presentaciones neutras y lograr que parte del interés y fascinación de la construcción de los conocimientos científicos llegue a los alumnos.

- A.11. Según la teoría electromagnética, las cargas aceleradas (como los electrones girando) deben emitir energía en forma de onda electromagnética. Establecer que implicaciones tiene esto en el modelo de Rutherford.

Comentarios A.11.

Conviene comentar los problemas que dejaba pendiente el modelo nuclear, en particular la no explicación de los espectros discontinuos y la inconsistencia del modelo con la teoría electromagnética, que supondría que los electrones al emitir energía ininterrumpidamente perderían velocidad y caerían finalmente sobre el núcleo.

3. EL TRIUNFO DE LAS CIENCIAS FISICAS

Con el trabajo de Rutherford la hipótesis atómica experimentó un fuerte impulso al asociar la ordenación periódica con un nuevo dato cuantitativo, obtenido experimentalmente de los átomos: la carga

nuclear (o el número de electrones que giran a su alrededor). Es preciso insistir en ello porque las hipótesis atomistas habían sido criticadas como ideas «metafísicas» es decir carentes de realidad. De este modo la química se integra en el campo de conocimientos de la física clásica: las leyes estudiadas sobre el comportamiento físico de la materia venían ahora a explicar la estructura de los átomos y a fundamentar el complejo comportamiento de las innumerables sustancias conocidas. A fines del siglo XIX las ciencias físicas parecían haber alcanzado una coherencia y capacidad explicativa y predictiva que hacía pensar a los científicos en un edificio prácticamente acabado, tan solo faltaban por resolver algunos pequeños problemas. Resulta importante, pues, recapitular y poner de relieve las principales aportaciones y las características del cuerpo de conocimientos elaborado, que conocemos hoy como la física clásica. Veremos esto en el capítulo siguiente en el que nos asomaremos también a los «pequeños problemas» pendientes.. que originaron, como veremos, una profunda crisis en la física clásica.

LA CRISIS DE LA FISICA CLASICA Y EL SURGIMIENTO DE LA FISICA MODERNA

Hacia 1880 se consideraba a la Física como una ciencia prácticamente elaborada y cerrada, cuyos principios y leyes estaban sólidamente establecidos.

Pero una serie de problemas que no pudieron ser explicados originaron, a principios del siglo XX, la crisis de la Física clásica, poniendo en cuestión hasta sus conceptos más evidentes y sólidos, y el surgimiento de un nuevo paradigma.

Desarrollaremos este tema de acuerdo con el siguiente índice:

1. Síntesis de la Física clásica.
2. Dificultades de la Física clásica
3. Orígenes de la Física cuántica: Efecto fotoeléctrico y concepto de fotón
4. Establecimiento de la Física cuántica
5. Aplicaciones de la Física moderna

1. SINTESIS DE LA FISICA CLASICA

A fines del siglo XIX, con la realización de la síntesis electromagnética por Maxwell -que integraba como hemos visto los fenómenos hasta entonces considerados desconexos de electricidad, magnetismo y óptica-, parecía haberse dado respuesta satisfactoria a los principales problemas que planteaba la ciencia física. A lo largo de 2 siglos se había erigido así un edificio imponente del que la mecánica newtoniana y la teoría electromagnética eran los pilares.

A.1. Señalar algunos de los principales éxitos (incluyendo sus aplicaciones prácticas) de la Física clásica, es decir, desde la época de Galileo a la de Maxwell.

Comentarios A.1.

Una actividad como esta supone, lógicamente, que a lo largo del curso se haya ido resaltando estos éxitos, no sólo puntualmente, sino también con ocasión de síntesis parciales. En este caso los alumnos se refieren sin dificultad a:

- la precisión alcanzada por la Mecánica en la descripción y predicción del movimiento, tanto de objetos terrestres como celestes.

- los grandes principios de conservación y transformación (de la masa, energía, cantidad de movimiento, carga) como expresión de la unidad de la materia. Esta contribución a una visión unitaria es uno de los trazos más característicos del desarrollo de la ciencia y es evidente también en la síntesis electromagnética o en la ley de gravitación universal.

- Las grandes revoluciones tecnológicas que supusieron las máquinas térmicas (factor esencial en la primera revolución industrial), la producción y transmisión de la corriente eléctrica (que hizo posible la concentración de las grandes cantidades de energía necesarias en la industria y ciudades modernas) o de las ondas electromagnéticas, que harían posible la rápida transmisión de información (telegrafía sin hilos, radio, televisión...).

Por supuesto es necesario que el profesor ayude a reformular estos aspectos a partir de las intervenciones de los alumnos. Conviene que se haga referencia, si los alumnos no lo han hecho a que quizás la mayor aportación de la ciencia clásica consistió en la nueva forma de abordar los problemas -con la sustitución de un pensamiento basado en «las evidencias del sentido común» por uno a la vez más creativo, con las hipótesis como núcleo central, y riguroso- y el prodigioso desarrollo a que ello dio origen. Holton y Roller

(1963) proporcionan un buen panorama de la Física clásica, aunque para los aspectos metodológicos nos remitimos al capítulo correspondiente de este volumen.

A.2. (Opcional) Tratar de indicar qué imagen del comportamiento de la materia introduce la Física clásica (en particular, cómo se conciben el espacio, el tiempo, las radiaciones y los cuerpos).

Comentarios A.2.

El objeto de esta actividad es resumir las características principales de la naturaleza en la Física mecanicista que, por supuesto, deben haber sido resaltados a lo largo del estudio realizado hasta aquí. Se puede insistir entre otras en las siguientes características del mecanicismo:

- *Concibe el espacio cómo un receptáculo independiente de los objetos que contiene y que no ejerce ninguna acción sobre los mismos.*

- *Los cuerpos se desplazan en este espacio absoluto, sufriendo una evolución medible en una escala temporal también absoluta.*

- *Las interacciones de unos objetos con otros producen modificaciones en su estado de movimiento que son perfectamente determinables por las leyes de la Mecánica. El conocimiento de las ecuaciones del movimiento de un objeto permite predecir su posición, velocidad, etc, en cualquier instante. Hay, pues, que resaltar que se trata de una concepción claramente determinista.*

- *Se distingue nítidamente entre materia (constituida por átomos) y radiación (concebida como energía sin sustrato material).*

Digamos por último que no conviene dar a esta síntesis un matiz peyorativo. Por el contrario conviene resaltar el portentoso edificio teórico que supuso la Física clásica y sus implicaciones tecnológicas, a las que nos hemos referido en la actividad A.1.

Conviene recordar que esta Física clásica se edificó contra la visión que conocemos como «Física del sentido común» y supuso un profundo cambio metodológico. Resulta útil plantear las siguientes actividades:

A.3. La Física clásica -alguna de cuyas características acabamos de revisar- surgió contra un paradigma, la Física aristotélico-escolástica que se había mostrado incapaz de resolver una serie de problemas. Señalar algunas de las tesis de ésta Física del sentido común que vino a derribar la Física clásica.

Comentarios A.3.

Esta actividad se convierte en ocasión de revisar algunas de las tesis principales de la Física del sentido común a las que ya nos hemos referido reiteradamente (ver el capítulo «Física del sentido común»). En particular los alumnos han de referirse a la visión jerárquica de la naturaleza, con una neta separación entre Física terrestre y Física celeste; a la tendencia de los cuerpos terrestres a ocupar su «lugar natural» y permanecer allí en reposo, que implica concebir las fuerzas como causa del movimiento y admitir que los cuerpos más pesados caen más aprisa; al carácter de movimiento «perfecto», sin principio ni fin y «no forzado» de los objetos celestes; al «horror al vacío» de la naturaleza...

A.4. El hundimiento de la «Física del sentido común» no supuso únicamente la substitución de una visión de la naturaleza por otra sino que estuvo asociada a un profundo cambio metodológico. Resumir las principales características del mismo.

Comentarios A.4.

Esta actividad constituye una ocasión más para abordar las características del trabajo científico más allá de las visiones simplistas habituales, resaltando en particular la substitución de un pensamiento basado en las evidencias del sentido común, por un pensamiento a la vez más creativo y más riguroso. Precisamente todo el desarrollo de la asignatura debe haber ayudado a producir el mismo cambio en los alumnos, cuya metodología espontánea tiene las mismas características de la metodología del sentido común (Gil y Carrascosa 1985; Hasweh 1986).

Para finalizar esta revisión de las principales características de la ciencia clásica proponemos una reflexión en torno a las relaciones ciencia/técnica/sociedad.

A.5. Indicar algunas de las implicaciones más relevantes de la ciencia clásica en los dominios ideológico, social, medio-ambiental, etc.

Comentarios A.5.

Esta actividad permite un debate sobre la influencia del surgimiento y desarrollo de la ciencia en la vida de los hombres, recapitulando lo visto a lo largo del curso a este respecto. Se puede ahora, p. e., valorar su contribución a la libertad de pensamiento -a través de la lucha contra las concepciones dogmáticas- y criticar el mecanicismo que acabó imponiéndose. Y del mismo modo se puede contraponer la potencialidad creativa del desarrollo tecnológico con la destrucción del medio que le ha acompañado.

2. DIFICULTADES DE LA FISICA CLASICA.

Del mismo modo que las dificultades de la concepción aristotélica escolástica contribuyeron al surgimiento del paradigma clásico en el siglo XVII, a finales del siglo XIX, una serie de problemas que no pudieron ser explicados originaron la crisis de la Física clásica -poniendo en cuestión los conceptos más evidentes y sólidos- y produjeron el surgimiento de un nuevo paradigma.

A.6. Como hemos ido viendo hasta aquí la Física clásica llegó a explicar prácticamente todos los fenómenos conocidos y se convirtió en un cuerpo coherente de conocimientos en el que sólo quedaban por resolver algunos pequeños problemas. Recordar algunos de estos problemas pendientes.

Comentarios A.6.

Como es lógico los alumnos citan aquellos problemas sobre los que se ha ido llamando la atención en los temas precedentes y muy en particular los espectros discontinuos y la inestabilidad del átomo de Rutherford (vistos en el tema anterior), el efecto fotoeléctrico (introducido al describir las experiencias de Hertz para contrastar la emisión de radiaciones electromagnéticas) y el carácter de sistema en reposo absoluto del espacio. El profesor puede indicar que estos pequeños problemas originaron dos líneas de investigación que provocarían la crisis del paradigma clásico y condujeron al establecimiento de la Física relativista y de la Física cuántica.

En una introducción elemental a las ciencias físico-químicas como ésta, el profesor puede terminar aquí la referencia a la crisis de la Física clásica, realizando además una breve exposición análoga a la propuesta en A.10 y remitiéndose a cursos superiores para un tratamiento más detenido de la Física moderna. Sin embargo también es posible una introducción elemental a la Física cuántica como la que a continuación presentamos con objeto de fundamentar mínimamente la cuantización que tan importante papel juega en la comprensión de la estructura del átomo y consiguiente justificación del SP, etc, que dio lugar al imponente desarrollo de la Química durante el siglo XX.

3. ORIGENES DE LA FISICA CUANTICA: EFECTO FOTOELECTRICO Y CONCEPTO DE FOTON (OPCIONAL)

De los problemas mencionados nos limitaremos a estudiar, cualitativamente, el efecto fotoeléctrico, en este capítulo, y los espectros discontinuos de los gases, vistos en el capítulo anterior y que se justificarán en el siguiente, ya que la teoría de la relatividad y la interpretación de los espectros continuos rebasa el nivel de este curso.

Como ya conocemos, el descubrimiento del efecto fotoeléctrico fue realizado en el curso de las experiencias de Hertz que tan brillantemente confirmaron la teoría electromagnética. Hertz observó un hecho que la teoría no predecía: la chispa entre los terminales del detector saltaba más fácilmente cuando dichos terminales estaban iluminados por la luz de la descarga oscilante o procedente de otra fuente.

En efecto, colocando una pantalla entre el circuito emisor y el detector, la chispa tardaba en saltar cierto tiempo. Y si, colocando la pantalla, se iluminaba el detector con otra luz de elevada frecuencia, de nuevo la chispa saltaba más fácilmente.

A.7. A título de hipótesis, tratar de dar alguna explicación del fenómeno observado por Hertz, es decir, del hecho de que en ciertas ocasiones al iluminar una placa metálica se arrancan electrones. Concretar

dicha hipótesis -teniendo en cuenta que, según la teoría electromagnética, la luz es una onda que distribuye uniformemente su energía- e indicar como se puede conseguir arrancar más electrones.

Comentarios A.7.

Los alumnos señalan que la emisión de electrones de la superficie metálica, es debida a que estos adquieren energía cinética al recibir la energía transferida por la onda luminosa. Al concretar señalan, en general, que el número de electrones depende de la intensidad o cantidad de luz (fuentes más potentes o numerosas).

Cuando se intentó contrastar las hipótesis acerca de los factores que determinan el efecto fotoeléctrico se encontró que los resultados experimentales contradecían estas predicciones basadas en la Física clásica, lo que obligó a la emisión de nuevas hipótesis:

A.8. Sugerir alguna nueva hipótesis capaz de explicar como distribuye la luz su energía que explique por qué en ocasiones (para determinadas frecuencias de la luz) aunque llegue muy poca luz es capaz de arrancar electrones mientras que para otros tipos de luz aunque su intensidad sea grande (llegue mucha luz) no puede arrancar ningún electrón.

Comentarios A.8.

Algunos alumnos pueden señalar que la luz no distribuye uniformemente su energía y otros que dicha energía depende de la frecuencia (del color) y, por ello, la luz puede arrancar los electrones independientemente de su intensidad. El profesor debe recalcar como Einstein una ambas ideas al considerar las ondas electromagnéticas como una distribución de «paquetes» de energía o cuantos -posteriormente fotones- cada uno de los cuales posee una energía proporcional a la frecuencia según la expresión $E = hv$, donde h es una nueva constante que ya había sido introducida en 1900 por Planck.

4. ESTABLECIMIENTO DE LA FÍSICA CUÁNTICA (OPCIONAL)

En el apartado anterior y en el tema precedente hemos abordado algunos de los problemas que marcaron los límites de la Física clásica y pusieron en evidencia la necesidad de profundos cambios en ella.

Y aunque los primeros cambios aparecen como retoques, como hipótesis parciales que rectificaron el edificio teórico existente, pronto se vio la necesidad de un replanteamiento global, la necesidad de elaborar un nuevo paradigma.

Este nuevo marco conceptual que sustituirá a la Física clásica constituye lo que conocemos como Física cuántica que se inicia en 1924 con los trabajos del científico francés Luis De Broglie.

A.9. La interpretación del efecto fotoeléctrico puso en evidencia que la luz posee conjuntamente propiedades ondulatorias y corpusculares. ¿Qué sugiere esto acerca del comportamiento de toda la materia (como, por ejemplo, los electrones) y a la distinción clásica entre ondas y corpúsculos?.

A.10. Breve explicación por el profesor del establecimiento de la Física cuántica y de sus características básicas,

Comentarios A.9 y A.10.

La primera de ellas permite que los alumnos imaginen, al igual que lo hizo De Broglie, que toda la materia -y no sólo los fotones- podría tener el doble carácter ondulatorio y corpuscular. El profesor puede hacer referencia a la contrastación experimental que supuso la difracción de electrones (y su interesante aplicación técnica en el microscopio electrónico). Sobre todo conviene resaltar el nuevo paso dado hacia una imagen unitaria de la materia. Más aún, es preciso añadir, de acuerdo con Feynman (1971) y Levy-Leblond (1982) que los electrones, los fotones, etc, son entidades complejas que no son ni simplemente ondas ni simplemente partículas.

La segunda es para que el profesor introduzca, cualitativamente y con el apoyo de la actividad anterior, ideas como: la complejidad de los objetos (no reducibles a pequeñas bolas o pequeñas ondas), la indeterminación como expresión de dicha complejidad (por la conexión existente entre el carácter ondulatorio y la deslocalización).

En la actividad siguiente mostraremos algunas de las implicaciones de dichas ideas.

- A.11. Establecer las diferencias más notables entre las visiones clásica y cuántica del comportamiento de la materia.

Comentarios A.11

Se trata de que los alumnos resuman algunas diferencias entre ambas concepciones del comportamiento de la materia. Entre las que citan más habitualmente destacamos:

1. *Clásicamente la energía puede tener cualquier valor /Carácter discreto de la energía en cuántica.*
2. *Carácter continuo de la radiación electromagnética y discreto de las partículas clásicas /Carácter dual de los electrones, fotones, etc. Los alumnos mencionan el carácter corpuscular de la radiación y el ondulatorio de los electrones y demás partículas, por ello, es esencial que el profesor insista en la dualidad de toda la materia.*
3. *La indeterminación de las trayectorias como consecuencia de dicha dualidad.*

5. APLICACIONES DE LA FISICA MODERNA

La Física cuántica, junto con la relativista, constituyen sólidas teorías científicas, con principios y métodos bien desarrollados que abrieron nuevas posibilidades al desarrollo científico y técnico.

- A.12. Realizar un estudio bibliográfico (utilizando textos de cursos superiores, enciclopedias, revistas de divulgación, etc) con objeto de enumerar los desarrollos científicos y tecnológicos más importantes que supuso la Física moderna.

Comentarios A.12.

Esta actividad permite mostrar como la nueva física es capaz de explicar el conjunto de los fenómenos microscópicos, en particular, la estructura electrónica del átomo y el enlace químico (con lo cual, la Química moderna aparece como una aplicación de la Física cuántica), los sólidos y sus propiedades (conductividad, magnetismo...), la estructura del núcleo y el complejo mundo de las partículas elementales y, también, la evolución de las estrellas, las galaxias y el Universo (Astrofísica).

En cuanto a las aplicaciones se pueden mencionar las diversas de la Química moderna (nuevos materiales...), la electrónica, base de lo que se ha venido a denominar segunda revolución industrial, el laser, las de la Física nuclear centrales, bombas, medicina nuclear...). (Levy-Leblond 1984).

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.13. Ciertos materiales fotográficos pueden manejarse con seguridad con luz roja, pero se deterioran con luz de otro color. ¿Cómo puede explicarse esto?
- A.14. Una placa fotográfica posee una capa de pequeños cristales, cada uno de los cuales puede descomponerse si se expone brevemente a la luz. Los cristales descompuestos reaccionan con el líquido revelador ennegreciéndose. Explicar por qué la imagen está constituida por la acumulación de granos ennegrecidos.
- A.15. Señalar sobre una flecha temporal algunos hitos que consideres fundamentales en el desarrollo de la Física.

Comentarios A.13 a A.15.

El interés de las dos primeras actividades estriba no sólo en su relación con la vida cotidiana, sino en que permiten una introducción del concepto de fotón: de la dependencia de la energía con la frecuencia y del carácter corpuscular.

La A.15 permite que los alumnos realicen una síntesis de lo visto hasta aquí resaltando los aspectos más relevantes.

LA ESTRUCTURA DEL ATOMO Y EL SISTEMA PERIODICO

A.1. En el tema «Primeras concepciones sobre la estructura del átomo» hemos visto como los modelos atómicos basados en la Física clásica (Thomson, Rutherford), eran incapaces de explicar ciertos hechos. Citar alguno de ellos.

La solución de estos problemas esta ligada, como sabemos, a lo visto en el tema anterior «La crisis de la Física clásica y el surgimiento de la moderna».

Desarrollaremos el tema de acuerdo con el siguiente índice:

1. Del modelo atómico de Bohr al desarrollo del modelo cuántico
2. Estructura electrónica y justificación de la ordenación periódica

1. DEL MODELO ATOMICO DE BOHR AL DESARROLLO DEL MODELO CUANTICO

Bohr se propuso aplicar la nueva teoría cuántica de la radiación al átomo de Rutherford, modificándolo de forma que diera cuenta de los hechos experimentales relativos a la emisión de luz.

De forma esquemática podemos exponer algunas de las ideas de Bohr como sigue:

1. Los electrones sólo pueden describir ciertas órbitas de energías bien determinadas.
2. Mientras los electrones giran en dichas órbitas no absorben ni emiten energía. Sólo cuando el electrón pasa de una órbita a otra más alejada absorbe energía y, sólo cuando desciende a describir una órbita más próxima al núcleo puede emitir energía.

A.2. Explicar con qué objeto Bohr introduce dichos postulados. Dicho de otra forma, mostrar cómo el modelo de Bohr explica los espectros discontinuos de los gases incandescentes.

Comentarios A.2

Los alumnos pueden ahora justificar la absorción y emisión de espectros discontinuos puesto que se parte de la existencia de sólo determinadas órbitas. Conviene señalar a los alumnos que el valor del trabajo de Bohr no se reduce a la introducción de estos postulados que, si bien explican cualitativamente los espectros discontinuos, son meras hipótesis ad hoc. Lo verdaderamente prodigioso es que Bohr fue capaz de calcular con estas ideas cual debía ser el espectro del hidrógeno -el elemento más simple- y obtuvo valores de las frecuencias coincidentes con los determinados experimentalmente. De éste modo las ideas cuánticas, aunque todavía no habían alcanzado el nivel de un cuerpo de conocimientos coherente, se apuntaban un notable éxito.

Bohr pudo justificar así los espectros de emisión y de absorción del elemento más sencillo, el hidrógeno. Se trataba de un éxito realmente espectacular, similar al obtenido por Newton al explicar las órbitas de los planetas gracias a la ley de gravitación universal. Sin embargo se trataba de un modelo que sólo introdujo algunas modificaciones ad hoc a la teoría clásica de la radiación.

A.3. Indicar en que contradicen los postulados de Bohr la Física clásica.

Comentarios A.3

Ambos postulados contradicen la Física clásica, ya que según las leyes de la Mecánica el electrón podría describir cualquier órbita y, según el electromagnetismo de Maxwell, debería irradiar ininterrumpidamente hasta precipitarse sobre el núcleo.

Por otra parte estas modificaciones introducidas por Bohr en la teoría clásica fueron anteriores al pleno desarrollo de las ideas cuánticas y no pudieron dar cuenta de otros aspectos de la compleja estructura atómica.

A.4.(Opc) En qué contradice el modelo de Bohr -que supone el giro de electrones puntuales en órbitas definidas- a los conceptos cuánticos estudiados en el tema anterior.

Comentarios A.4

Cabe esperar que los alumnos señalen que el carácter ondulatorio del electrón implica -como se vio en el tema anterior- una cierta deslocalización y, por tanto, una cierta indeterminación en el movimiento que puede seguir el electrón. Esto se traduce en que el electrón carece de una órbita absolutamente determinada.

A.5. Breve descripción por el profesor de las características del nuevo modelo cuántico del átomo.

Comentarios A.5

El estudio mínimamente detallado del modelo cuántico se pospondrá para cursos más avanzados. Sin embargo, podemos señalar de forma esquemática algunas de las principales características:

a) Existe un núcleo central cargado positivamente en el que se encuentra la casi totalidad de la masa del átomo.

b) En torno al núcleo se encuentran los electrones. Dichos electrones están caracterizados por estados con energía determinada, denominados orbitales. Según el estado en que se encuentren tendrán una cierta amplitud de probabilidad de encontrarse en una determinada región del espacio (que el profesor mostrará mediante representaciones gráficas, etc).

c) Las energías características de los estados se pueden agrupar mediante diagramas de niveles energéticos. Dichos niveles se agrupan en capas y subcapas, cuyo orden (que se justificará en cursos superiores) para un átomo de varios electrones es el siguiente:

1s 2s 2p 3s 3p ...

Especialmente importante es dejar claro que cada orbital está constituido por uno o, como máximo, dos electrones y que los orbitales no son recipientes que los electrones puedan ocupar o no (este es un error muy frecuente -Solbes et al 1987- debido al uso -útil sin duda- de ciertas representaciones).

d) Los electrones de los átomos tenderán a estar en los estados de menor energía posible y podrán «excitarse», es decir, cambiar de estado energético, con tanta más facilidad cuanto más próximos sean energéticamente, aunque existen cambios prohibidos.

Casi todas estas ideas pueden expresarse también asociadas al modelo de Bohr. Es posible pues, en este nivel inicial limitarse a presentar el modelo de Bohr posponiendo para cursos superiores la presentación del modelo cuántico más elaborado.

2. ESTRUCTURA ELECTRONICA Y JUSTIFICACION DEL SISTEMA PERIODICO

Uno de los grandes éxitos del modelo cuántico fue la justificación de la ordenación periódica.

A.6. A título de hipótesis, ¿cuál podría ser la razón del comportamiento similar de los elementos de una familia dada del sistema periódico? o, dicho de otro modo, ¿en que podría basarse dicha semejanza entre elementos distintos?

Comentario A.6

Cabe esperar que los alumnos señalen que la ordenación periódica y, por tanto, el distinto comportamiento químico de los átomos sea debido a la estructura electrónica característica de cada elemento.

- A.7. Utilizando el diagrama de niveles presentado por el profesor dar las configuraciones electrónicas de los elementos Li, Na y K. ¿En qué reside la semejanza de estos elementos, pertenecientes a la familia de los alcalinos?
- A.8. ¿En qué residirá la semejanza de los elementos de la segunda columna del sistema periódico? Verificar esto estableciendo las configuraciones electrónicas del Be, Mg y Ca.
- A.9. Escribir las estructuras de O y S. Señalar la relación entre ambas.
- A.10. Escribir las estructuras de F, Cl y Br. Señalar la relación entre dichas estructuras.
- A.11. Indicar cuál es la característica desde el punto de vista electrónico de los llamados gases nobles He, Ne y Ar.

Comentarios A.8, A.9, A.10 y A.11

Estas actividades permiten a los alumnos constatar de manera reiterada la hipótesis formulada en A.6, es decir, la semejanza de las estructuras electrónicas de los elementos de una misma familia y, más concretamente, la identidad de la última capa incompleta.

- A.12. Dibujar la silueta del sistema periódico corto y situar en ella los elementos cuya estructura electrónica se ha estudiado.

3. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.13. Resumir la evolución de los modelos propuestos para explicar la estructura atómica del átomo desde Thomson al modelo cuántico, señalando los rasgos más significativos de dichos modelos y los cambios fundamentales introducidos de uno a otro.
- A.14. Comentar las siguientes proposiciones explicando en qué medida te parecen correctas o no:
- Los átomos están constituidos por un núcleo y orbitales que pueden estar ocupados o no por electrones.
 - Los orbitales son zonas del espacio situadas alrededor del núcleo que los electrones pueden ocupar.
 - Los orbitales atómicos están asociados a propiedades de los electrones y no tienen existencia independiente de los mismos.

Comentarios A.13 y A.14

La primera de estas actividades pretende que los alumnos realicen una síntesis de este tema, junto con el de «Primeras concepciones sobre la estructura atómica» y la segunda, salir al paso del error conceptual muy frecuente del orbital «estantería», según el cual los orbitales existen independientemente de los electrones y pueden o no ser ocupados por éstos.

ENLACE QUIMICO

Uno de los problemas fundamentales que la química tenía planteados, una vez establecida la estructura corpuscular de las sustancias, era el estudio de las causas que mantienen unidos a los átomos en agregados de relativa estabilidad que van desde moléculas discretas - que se presentan al estado gaseoso en condiciones normales -tales como el oxígeno, cloro,... hasta cristales como los de sal común o estructuras como las de hierro y otros metales.

Históricamente, el conocimiento del enlace químico es fruto de la confluencia de dos líneas de investigación: el estudio de las propiedades características de las sustancias y el desarrollo teórico basado en la estructura atómica.

De acuerdo con ello comenzaremos intentando clasificar la enorme variedad de sustancias atendiendo a criterios que proporcionen alguna información sobre las características de los enlaces. A continuación intentaremos dar cuenta de dichas características a partir de los conocimientos alcanzados sobre la estructura de los átomos. Este será, pues, el índice para el desarrollo del tema:

Índice:

1. Clasificación de las sustancias de acuerdo a sus propiedades
2. Generalidades sobre el enlace químico
3. Enlace iónico
 - 3.1. Formación de iones y del compuesto iónico
 - 3.2. Interpretación de las propiedades de los compuestos iónicos.
4. Enlace covalente
 - 4.1. Formación de sustancias con enlaces covalentes
 - 4.2. Interpretación de algunas propiedades de sustancias con enlaces covalentes.
5. Enlace metálico.
6. Formulación y nomenclatura de las sustancias químicas

CLASIFICACION DE LAS SUSTANCIAS DE ACUERDO A SUS PROPIEDADES

Parece lógico suponer que las propiedades características de las sustancias aporten alguna información acerca de la forma en que están unidos los átomos

- A.1. Citar algunas propiedades de las sustancias que puedan ser indicativas del tipo de unión existente en las mismas (fuerte o débil, existencia o no de partículas cargadas, etc).

Comentario A.1.

Los alumnos suelen hacer referencia a la dureza y a los puntos de fusión y ebullición como índices de la mayor o menor intensidad de la unión entre partículas. Por otra parte se refieren a la conductividad eléctrica como índice de la existencia o no de partículas cargadas. Otras propiedades citadas, para las cuales los alumnos no siempre encuentran relación con el tipo de enlace son: la solubilidad, la facilidad de deformación o fragilidad de los sólidos, etc. Conviene, pues, detenerse en las relaciones entre dichas propiedades y las características de los enlaces.

- A.2. En el anexo se proporciona el resumen de una posible clasificación de las sustancias de acuerdo a sus propiedades. Confeccionar a partir del mismo un cuadro de doble entrada de los principales tipos de enlace y de algunas propiedades características.

A.3. En la tabla adjunta se han recogido las propiedades características de tres sustancias sólidas (X, Y, Z) a la temperatura ordinaria. Señalar cuál de ellas puede considerarse un compuesto iónico, cuál un metal y cuál un compuesto cuyas partículas están unidas por fuerzas intermoleculares.

	X	Y	Z
punto de fusión	808	80	1083°
solubilidad en agua	si	no	no
solubilidad en benceno	no	si	no
conductividad eléctrica en estado sólido	no	no	si
conductividad eléctrica en disolución o fundido	si	no	si
deformación del sólido	frágil	frágil	si

Comentario A.2 y A.3.

El anexo al que se refiere la actividad A.2. se resume una abundante información que pone en evidencia la existencia de cuatro tipos de enlace asociados a propiedades características de las distintas sustancias. El cuadro de doble entrada solicitado permite esquematizar dicha información obligando a un trabajo de síntesis de la información proporcionada. En la actividad A.3. se solicita una aplicación concreta de la clasificación establecida: las sustancias X, Y, y Z son respectivamente el cloruro de sodio, el naftaleno y el cobre, y se catalogan la primera como un compuesto iónico, la segunda como un compuesto en el que actúan débiles fuerzas intermoleculares además de las más intensas intramoleculares y la tercera como un metal.

En resumen, el estudio de las propiedades de las sustancias nos permite agruparlas en tres grandes tipos poniendo en evidencia la existencia de cuatro formas distintas de interacción entre partículas: enlace iónico, enlace covalente, fuerzas de Van der Waals y enlace metálico.

A.4. Programar sendas experiencias (cualitativas) para caracterizar distintas sustancias atendiendo a: a) solubilidad en agua y en benceno b) conductividad en estado sólido y en disolución c) puntos de fusión d) deformabilidad.

Comentario A.4.

En las experiencias de solubilidad es conveniente sustituir el benceno por otro disolvente menos tóxico (p. e. tolueno). La deformabilidad es fácil de determinar y lo mismo puede decirse de la conductividad (basta disponer de un circuito provisto de una pila, bombilla, o mejor aún de un galvanómetro y dos electrodos). Por lo que se refiere a la determinación de puntos de fusión de los sólidos, como se trata sólo de indicar si son altos o bajos, los alumnos proponen introducir una pequeña cantidad en un tubo de ensayo y calentar fuertemente hasta observar si funde o no.

A.5. Proceder a la caracterización de las sustancias presentadas por el profesor y determinar a cuál de los grupos pertenece.

Comentario A.5.

Pueden entregarse muestras de naftaleno, cloruro de sodio, Iodo, granalla de cinc, hidróxido de sodio, cobre, azufre, Ioduro de potasio, cuyas propiedades características pueden establecerse en la forma cualitativa indicada en A.4.

2. GENERALIDADES SOBRE EL ENLACE QUIMICO

Tras el establecimiento de las hipótesis atómicas de Dalton, la justificación de las uniones entre los átomos de distintos elementos y de las fórmulas estequiométricas resultantes se convierte en uno de los problemas fundamentales.

A.6. Indicar, a la luz de lo visto acerca de la estructura de los átomos, qué parte del átomo se modifica en un proceso químico.

Comentario A.6.

Conviene dejar claro en esta actividad que aunque los componentes de un átomo (núcleo y electrones) pueden quedar alterados en una interacción, las cantidades de energía puestas en juego en un proceso químico son relativamente moderadas, afectando fundamentalmente a los electrones más externos, que se designan por ello «capa de valencia». De hecho, en el tema anterior, al justificar la ordenación periódica ya se vio la importancia de dicha capa, por lo que los alumnos no tienen ahora dificultad en la introducción del concepto de capa de valencia.

A.7. Representar las estructuras de puntos del B, N, Al, K, He, Ne y Cl indicando, de acuerdo con lo visto en la actividad anterior, cuál es la capa de valencia.

Una vez revisadas las configuraciones electrónicas y establecido que en los procesos químicos solo se modifica la «capa de valencia», queda por analizar cuales serán las posibilidades de evolución de un átomo en un proceso químico, con el fin de conseguir una estructura electrónica más estable. Una forma de conocer que átomos tienen estructuras electrónicas más estables es considerar la energía que se precisa para arrancar un electrón de los mismos, denominada «energía de ionización». Por ello, pues, debemos acudir a los datos experimentales de que disponemos sobre energías de ionización.

A.8. A la vista de la gráfica de primeras energías de ionización de los átomos (figura 1). Justificar qué estructuras son las más estables en cada uno de los períodos del sistema periódico.

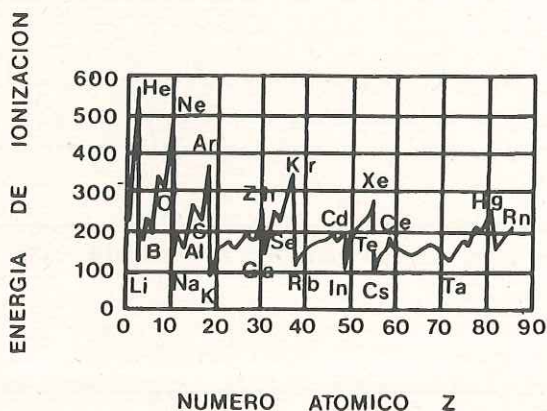


figura 1

Comentario A.8.

Si bien los alumnos indican fácilmente las estructuras de los gases nobles como las más estables, hay que hacer notar que existen otras estructuras electrónicas cuya estabilidad es superior a la de los elementos próximos y que se estudiarán en cursos superiores. En efecto, el objetivo de esta actividad es preparar a los alumnos a la comprensión de la existencia de los iones. Y si bien iones como el Na^+ , Ca^{2+} , O^{2-} , etc se explican como resultado de la adquisición de estructuras de gas noble, la existencia de otros iones como Cu^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , ... obliga a pensar en otras estructuras electrónicas con una cierta estabilidad a las que es preciso referirse en términos generales (aunque no se estudien en un curso introductorio como este).

En 1916 Kossel y Lewis independientemente y basándose en el hecho de la escasa reactividad de los gases nobles (que debido a ello solo fueron descubiertos a principios del siglo XX) sugirieron que los compuestos químicos podrían interpretarse como consecuencia de la posibilidad de que los átomos adquieran la configuración electrónica de gas noble más próximo a ellos.

A.9. A título de hipótesis interpretar: a) la reacción entre el flúor gaseoso y el sodio metal para formar fluoruro de sodio (NaF) b) la formación de la molécula de hidrógeno H_2 .

Comentario A.9.

La discusión de los alumnos conduce a la idea de formación de iones F^- y Na^+ en el primer caso y, aunque con algunas dificultades, a la de compartición de electrones en el segundo. El profesor puede relacionar estas ideas con los trabajos de Kossel y Lewis señalando lo correcto de estas intuiciones pero indicando también la necesidad de profundizar en los mecanismos de formación del compuesto. En efecto,

aunque la estructura de gas noble tenga una cierta estabilidad, arrancar electrones exige siempre un aporte de energía. La explicación de la estabilidad de un compuesto y sus propiedades características exige una consideración más detenida, que se realiza en los apartados siguientes.

Hemos visto la existencia de dos tipos de enlace: intercambio de electrones entre átomos de diferentes elementos y compartición de electrones entre átomos del mismo elemento, a continuación vamos a estudiar cada tipo de enlace.

3. ENLACE IONICO

3.1. Formación de iones y del compuesto iónico

A.10. Explicar que familias del sistema periódico formarán más fácilmente iones positivos, indicando su carga respectiva. Idem para los iones negativos.

Comentario A.10.

En este curso conviene centrarse exclusivamente en los elementos representativos. Los alumnos deducen fácilmente los iones que forman tomando como referencia la posibilidad de que los átomos al perder o ganar electrones adquieran la estructura de gas noble más próximo a ellos. Como ya hemos señalado existe el peligro de que los alumnos piensen que los iones presentan estructuras más estables que los átomos correspondientes, para clarificar esta cuestión se plantea la actividad siguiente.

A.11. Explicación por el profesor de la formación de un compuesto iónico.

Comentario A.11.

Se trata de aplicar el ciclo de Born Haber a nivel cualitativo. Debe dejarse claro en particular, que un compuesto iónico como el NaF no está formado por un par de iones y que la estabilidad corresponde al agregado cristalino y no a cada ión. También puede ser interesante mostrar el modelo tridimensional de una red iónica como la red del NaCl. Para afianzar las ideas presentadas por el profesor se plantea la actividad siguiente.

A.12. Explicar la formación del cloruro de calcio e indicar el significado de su fórmula.

Comentario A.12.

En este nuevo ejemplo se pretende ver hasta qué punto los alumnos han comprendido el proceso de formación de un compuesto iónico. El profesor puede insistir en que cada ión Ca^{2+} se rodeara de iones Cl^- (y viceversa), estando determinado el número de iones Cl^- p.e. que rodean a un ión Ca^{2+} por sus cargas y tamaños respectivos y no por la proporción que establece la fórmula CaCl_2 .

A.13. Utilizar el modelo de enlace iónico para predecir las fórmulas de los compuestos formados por los siguientes pares de elementos y contrastar con las fórmulas conocidas de los mismos. a) calcio y oxígeno b) sodio y flúor c) magnesio y azufre.

Comentario A.13.

En esta actividad se inicia a los alumnos en la formulación de compuestos iónicos binarios, el manejo reiterado de la misma se realizará una vez finalizado el tema, en el apartado destinado a formulación. Los alumnos pueden elaborar un algoritmo de formulación basado en el modelo de enlace iónico estudiado; así para formular el fluoruro de magnesio: a) en primer lugar deberá reconocerse qué elemento es metal y cuál no metal de los que forman el compuesto. En nuestro caso el flúor es no metal y el magnesio es metal. b) a partir de la posición de los elementos en el S.P. (o dicho de otro modo a partir de su estructura electrónica) podemos en muchos casos deducir qué iones han de formarse para adquirir la estructura electrónica estable. En nuestro caso se formarán F^- y Mg^{2+} . c) Finalmente ya que el cristal tiene que ser eléctricamente neutro, se puede establecer la relación numérica de iones presentes en un cristal iónico, es decir su fórmula. En nuestro caso MgF_2 .

A continuación intentaremos mostrar como el modelo de enlace iónico propuesto da cuenta de las propiedades de estos compuestos.

3.2. Interpretación de las propiedades de los compuestos iónicos.

A.14. A partir del modelo establecido para el enlace iónico justificar las propiedades de estos compuestos (recogidas en el anexo).

Comentario A.14.

Se trata de que los alumnos pasen revista a las propiedades mencionadas en el anexo proporcionado sobre la clasificación de sustancias y ayudarles a completar la explicación de las mismas. Así la falta de conductividad de estas sustancias en estado sólido se explica porque los electrones que intervienen en los enlaces quedan emplazados en los iones individuales y estos no pueden moverse en la red iónica, por tanto no podrán conducir la corriente eléctrica. Ahora bien, al liberarse los iones, cosa que ocurre al disolver las sustancias iónicas o al fundirlas, aquellos podrán transportar su carga eléctrica y podrán conducir la electricidad de modo similar a como lo hacen los electrones en un metal. El establecimiento de una red iónica, también explica que presenten elevados puntos de fusión y ebullición estos compuestos, así como su elevada dureza. Hay que tener en cuenta que el enlace iónico es muy fuerte ya que todo ión es causante de un campo electrostático en todas direcciones, lo que le hará rodearse de varios iones, de signo opuesto a su alrededor; es cierto que también tendrá próximos iones del mismo signo en la red, pero más alejados que los de signo opuesto. Análogamente se puede predecir la fragilidad de un cristal iónico al someterlo a un desplazamiento lateral. Al realizar la acción nos encontraremos con el enfrentamiento de iones del mismo signo, lo que se traduce en una inestabilidad del sistema electrostático y, por tanto, en una relativa facilidad de rotura del cristal.

4. ENLACE COVALENTE

Se acaba de justificar la formación de compuestos iónicos como un intercambio de electrones entre un metal y un no metal; pero los compuestos iónicos forman un número relativamente pequeño del total de los compuesto químicos conocidos. así hay numerosos compuestos formados al combinarse elementos no metálicos entre sí, como el agua (H_2O), el cloruro de hidrógeno (HCl), el amoníaco (NH_3), incluso uniones entre átomos iguales como el hidrógeno (H_2), el cloro (Cl_2), el diamante (C puro) cuya explicación no es posible mediante un mecanismo de transferencia de electrones como sucedía en el enlace iónico.

4.1. Formación de sustancias con enlaces covalentes.

Ya se ha visto en la A.9 una posible explicación en la formación de sustancias como H_2O , basándose en la adquisición de la configuración electrónica de gas noble por medio de compartición de electrones entre los átomos enlazados, denominándose a este tipo de unión enlace covalente.

A.15. Tratar de justificar la formación de moléculas de: a) amoníaco (NH_3) b) cloro (Cl_2) c) oxígeno (O_2) d) nitrógeno (N_2)

Comentario A.15

Basándose en la idea de que la compartición de electrones entre átomos enlazados puede realizarse con pares de electrones y de que cada átomo debe adquirir la configuración de gas noble, los alumnos pueden justificar la formación de las moléculas mencionadas, poniendo de manifiesto tanto los enlaces covalentes simples como los dobles o triples.

A.16. Predecir la formula de los compuestos formados por: a) hidrógeno y oxígeno b) hidrógeno y azufre c) oxígeno y carbono d) Iduro de hidrógeno.

Comentario A.16.

En esta actividad se inicia al alumno a la formulación de compuestos binarios con enlaces covalentes; un posible algoritmo podría ser el siguiente: a) en primer lugar se escribe la estructura de puntos de cada átomo. b) disponer los átomos de tal forma que aparecen sus electrones, haciendo uso del número mínimo de átomos necesarios para ello.

4.2. Interpretación de algunas propiedades de sustancias con enlace covalentes

A.17. A partir del modelo establecido para el enlace covalente, justificar las propiedades más características de estos compuestos.

Comentario A.17.

La falta de conductividad en estas sustancias se puede explicar porque los electrones de enlace están «localizados» atraídos por los dos núcleos de los átomos enlazados. La misma explicación se puede dar para las disoluciones de estas sustancias en disolventes del tipo del benceno, donde se encuentran las moléculas individuales sin carga neta moviéndose en la disolución. Dada la elevada energía necesaria para romper un enlace covalente, es de esperar un elevado punto de fusión cuando los átomos unidos extiendan sus enlaces en las tres direcciones del espacio como sucede en el diamante; no obstante, cuando el número de enlaces es limitado como sucede en la mayor parte de las sustancias (oxígeno, hidrógeno, amoníaco, etc..) con enlaces covalentes, al quedar saturados los átomos enlazados en la molécula, la interacción entre moléculas que se tratará más adelante, será débil, lo que justifica que a menudo estas sustancias se encuentren en estado gaseoso a temperatura y presión ordinaria y que sus puntos de fusión y ebullición sean bajos.

A.18. La mayoría de las sustancias, como se ha visto, forman moléculas discretas (Cl_2 , H_2O , NH_3). Sin embargo estas moléculas pueden condensarse en un líquido o sólido a bajas temperaturas y elevadas presiones, otras incluso a temperatura ambiente. Emitir una hipótesis para explicar estos hechos.

Comentario A.18.

Con esta actividad se pretende introducir las fuerzas intermoleculares como una interacción muy importante precisamente por su debilidad. En efecto esta debilidad supone que pequeños aportes energéticos permitirán las transformaciones. Conviene insistir en la importancia de las uniones lábiles en los procesos vitales, necesariamente asociados a intercambios energéticos muy moderados. El profesor puede dar algunas indicaciones cualitativas sobre el origen de las mismas.

5. ENLACE METALICO.

Por último estudiaremos el enlace metálico, su importancia la podemos ver en el hecho de que las 3/4 partes de elementos del S.P. son metales, y también a que la historia de la humanidad va ligada a la utilización de los mismos. Presentan propiedades muy peculiares que los han diferenciado desde hace siglos de las restantes sustancias, tales como: excelentes conductores del calor y la electricidad en estado sólido, en general se presentan como sólidos de dureza variable, con variados puntos de fusión y ebullición, sin embargo son fácilmente deformables.

A.19. Explicación por el profesor del modelo de la nube electrónica para el enlace metálico.

A.20. Justificar de acuerdo con el modelo propuesto la gran conductividad eléctrica y térmica de los metales.

Actividades complementarias

A.21. Cómo se interpreta desde el punto de vista del enlace químico las siguientes propiedades:

- la fragilidad de un sólido iónico.
- El bajo punto de fusión del naftaleno.
- La conductividad de una disolución como el cloruro de sodio en agua.
- La fácil sublimación de Iodo sólido y en cambio la gran dificultad de romper la molécula diatómica de Iodo.

A.22. Dados los siguientes pares de elementos: a) oxígeno y bario b) flúor y flúor c) hidrógeno y azufre.
1) Escribe las fórmulas más probables de la sustancia formada entre cada par de elementos
2) Nombrar los enlaces que se considera en cada una de las tres sustancias cuando se encuentran en fase sólida.

ANEXO

CLASIFICACION DE LAS SUSTANCIAS DE ACUERDO CON SUS PROPIEDADES

La materia que nos rodea se presenta en forma de sustancias con distinto aspecto y propiedades. Parece claro que el conocimiento de estas propiedades puede aportar alguna información acerca de las interacciones que hacen unirse a las partículas en una sustancia. Así, por ejemplo, el punto de fusión de las diversas sustancias es indicativo de la mayor o menor fuerza de enlace entre las partículas - sean átomos, iones o moléculas- unidas en el sólido. Tendrá por tanto, gran importancia clasificar las sustancias atendiendo a sus propiedades características.

La diversidad de propiedades (densidad, temperaturas de fusión y ebullición, dureza, solubilidad en diferentes líquidos, conductividad,..) hace difícil clasificar en unos pocos grupos a todas las sustancias existentes y cualquier sistematización que establezcamos dejará fuera a sustancias con propiedades intermedias o atípicas. A pesar de estos inconvenientes ha sido posible clasificar a la mayor parte de las sustancias, atendiendo a su comportamiento, en tres grandes tipos que describiremos brevemente a continuación y que evidencian sin pretender ser exhaustivos- la existencia de cuatro formas fundamentales de unión entre los átomos, es decir de cuatro tipos de enlace.

a) En primer lugar nos encontramos con sustancias como el cloruro de sodio, Ioduro de potasio, cloruro de magnesio, etc., que son compuestos de aspecto cristalino, frágiles y con elevados puntos de fusión y ebullición. Son, en general, más o menos solubles en disolventes del tipo del agua y no lo son en disolventes del tipo del benceno. No son conductores de la corriente en estado sólido, pero sí cuando se presentan fundidos o en disolución. La existencia de este tipo de sustancias, entre las que hemos citado como ejemplos típicos a las sales, está ligada a una forma de enlace que, por razones que luego veremos, se denomina enlace iónico, designando consecuentemente dichas sustancias como compuestos iónicos.

b) En segundo lugar, nos encontramos con sustancias como el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, dióxido de carbono, naftaleno, que se encuentran a menudo, a temperatura y presión ordinaria, en forma de gases constituidos por moléculas de una gran estabilidad, pues resisten, en general temperaturas elevadas sin descomponerse. En cambio, los sólidos y líquidos que estas moléculas llegan a formar tienen por lo general bajos puntos de fusión (80°C para el naftaleno) y ebullición (-72°C para el dióxido de carbono; por otra parte, los sólidos de esta clase no se disuelven en disolventes del tipo del agua, haciéndolo en los del tipo del benceno y no conducen la corriente eléctrica ni en estado líquido ni sus disoluciones. El comportamiento de estas sustancias hace suponer la existencia de fuertes uniones intramoleculares dada la estabilidad de dichas moléculas, y de débiles interacciones intermoleculares, teniendo presente la facilidad con que se logra separar las moléculas. Es decir, se pone de manifiesto la existencia en este tipo de sustancias- como veremos- de dos formas de enlace asociadas, denominándose a la primera forma enlace covalente y conociéndose las débiles interacciones intermoleculares como fuerzas de Van der Waals. En algunos casos particulares se presenta exclusivamente una de estas formas de unión. Así, se ha conseguido solidificar a los llamados gases nobles que en condiciones normales se presentan como gases formados por átomos sueltos, en estos sólidos sólo estarán presentes, pues, las débiles fuerzas de Van der Waals que aquí se ejercen entre partículas monoatómicas. Por otra parte el diamante, carbono puro, es como veremos, un ejemplo de sustancia cuyos cristales constituyen verdaderas moléculas gigantes en las que las uniones entre átomos de C tienen las características del enlace covalente.

c) Por último, nos referiremos a los metales, cuya propiedad más típica es su carácter conductor del calor y la electricidad en estado sólido. Los metales constituyen más de las tres cuartas partes de los elementos del S.P. por lo que no es de extrañar que existe una gran variedad en propiedades tales como dureza, punto de fusión, etc. Muchos de ellos tienen un brillo característico y son fácilmente deformables, es decir, son dúctiles y maleables (se separan fácilmente en hilos y láminas). El tipo de enlace existente entre los átomos de un metal se denomina, por razones evidentes, enlace metálico.

6. FORMULACION Y NOMENCLATURA DE LAS SUSTANCIAS QUIMICAS (INORGANICAS)

1. Introducción.

Las normas para nombrar y formular compuestos, han sido establecidas por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) conociéndose por nomenclatura sistemática. A continuación proponemos algunas actividades tendientes a favorecer su dominio.

Comentarios

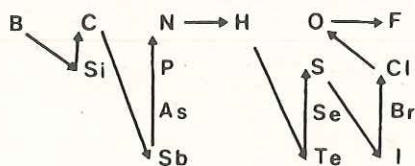
El aprendizaje de formulación que se presenta está basado en las ideas estudiadas sobre el enlace químico por lo que el estudio de la misma se realiza después de dicho tema. Sería conveniente ir introduciendo la formulación paulatinamente a medida que sea necesario.

Se manejará fundamentalmente la nomenclatura sistemática (IUPAC), excepto en los ácidos oxácidos y sus sales derivadas, para los cuales se seguirá utilizando la nomenclatura funcional (antigua) que es admitida también por IUPAC. Se hará uso de los elementos representativos y de algunos elementos de transición.

- A.1. Dar el nombre de los elementos cuyos símbolos son: H, Li, Na, K, Be, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Ag, Au, Hg, Pb, Sn, C, Si, N, P, O, S, F, Cl, Br, I, He, Ne, Ar. El profesor propondrá asimismo ejercicios de escritura de símbolos de los elementos más comunes y justificará el nombre de algunos de ellos.
- A.2. Dada la silueta del Sistema Periódico, colocar en ella los elementos mencionados en la A.1.
- A.3. Predecir a partir de su estructura electrónica qué iones pueden formar los siguientes elementos, asimismo indicar a qué familia del S.P. pertenecen: litio, sodio, potasio, magnesio, calcio, aluminio, nitrógeno, fósforo, oxígeno, azufre, flúor, cloro, bromo y Iodo.
- A.4. Además de los iones vistos en la actividad anterior, se manejarán los siguientes cationes monoatómicos que introducimos en este nivel sin justificar: (o que serán justificados por el profesor si lo considera conveniente): Zn^{2+} , Ag^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Au^+ , Au^{3+} , Pb^{2+} , Pb^{4+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , Cu^+ , Cu^{2+} .
- A.5. Los cationes monoatómicos deben ser designados de la misma manera que el elemento correspondiente, sin cambio de sufijo. Ejemplos: Cu^+ , ión cobre (I) Cu^{2+} ión cobre (II). Designar los siguientes iones: Ca^{2+} , Li^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Pb^{4+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , Ag^+ , Au^{3+} , K^+ .
- A.6. Los nombres de los aniones de un sólo elemento son los del elemento correspondiente, seguido del sufijo URO, abreviado a veces, a excepción del O^{2-} (ion óxido). Ejemplos: F^- , fluoruro, S^{2-} , ión sulfuro. Dar el nombre de los siguientes iones: Cl^- , Br^- , I^- , N^{3-} , P^{3-} , H^- .

I. Compuestos formados por dos elementos (compuestos binarios)

- A.7. Cuando un compuesto está formado por un metal y un no metal se escribe primero el símbolo del metal. Indicar cuál de las fórmulas propuestas para cada compuesto es correcta, atendiendo al orden en que deben escribirse sus constituyentes: $ClNa$, $NaCl$; K_2S , SK_2 ; I_2O_3 , O_3Al_2 ; I_2Zn , ZnI_2
- A.8. Cuando un compuesto está formado por dos no metales, se escribe en primer lugar el símbolo del elemento que aparece primero en la siguiente serie (en la cual los elementos están ordenados por electronegatividades crecientes): P, Si, C, Sb, As, N, H, Te, Se, S, Br, Cl, O, F.
Para recordar mejor ese orden, es útil colocar los símbolos de la siguiente forma (asociada al sistema periódico).



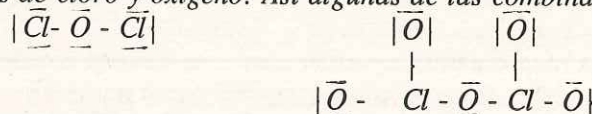
Colocar en el orden correcto los elementos en cada uno de los siguientes compuestos: ClI , H_2O , CSi , SH_2 , ClH

- A.9. Para nombrar un compuesto binario, le añadiremos la terminación URO al nombre del elemento que aparece en segundo lugar (que es el más electronegativo), excepto en el caso del oxígeno que se le agrega el sufijo IDO, seguido del nombre del otro elemento. Así por ejemplo el $NaCl$ se denomina cloruro de sodio; el CaO se nombra como óxido de calcio. Dar el nombre de los siguientes compuestos: Na_2O , Li_3N , $ZnBr_2$, Al_2O_3

- A.10. Formular y nombrar los compuestos binarios del hidrógeno con los siguientes elementos: Li, Na, Mg, Ba, Al.
- A.11. Formular y nombrar los compuestos binarios del hidrógeno con los siguientes elementos: F, Cl, Br, I, O, S, N, P, C
- A.12. Formular y nombrar los compuestos binarios del oxígeno con los siguientes elementos: Li, Zn, Ca, Mg, Ag, Be, Al, Na, K.
- A.13. La formación de óxidos con elementos no metálicos es más compleja que la de los óxidos metálicos que acabamos de ver. Intentar formar justificadamente óxidos de cloro, azufre y nitrógeno.
- A.14. Explicación elemental del profesor de la formación de algunos óxidos no metálicos.

Comentarios A.13 y A.14

Una forma de explicar la formación de algunos óxidos no metálicos, por ejemplo, óxidos de cloro, podría ser la siguiente: escribir la estructura de Lewis para las posibles combinaciones que puedan darse entre los elementos de cloro y oxígeno. Así algunas de las combinaciones posibles serían



formándose lo que se denominan «enlaces covalentes dativos» en los que los dos electrones compartidos son proporcionados por el cloro dada la mayor extracción que los átomos de oxígeno ejercen.

Conviene señalar al alumno que algunos de estos óxidos no tienen existencia real (por ejemplo Cl_2O_7), aunque sí que la tiene el oxoácido que teóricamente deriva de ellos.

- A.15. Formular los óxidos correspondientes a los elementos I, Br, P, C y As.
- A.16. Las proporciones estequiométricas pueden ser indicadas por medio de prefijos griegos mono, di, tri, tetra, ... Así N_2O se nombra como óxido de dinitrógeno, Al_2O_3 trióxido de dialuminio, ...etc. Nombrar: Ca_3N_2 , P_2O_5 , FeCl_2 , CCl_4 , SnO_2 , Fe_3O_4 , I_4O_9 , OF_2
NOTA: se recomienda utilizar estos prefijos para combinaciones de no metal-no metal.
- A.17. Otra forma de indicar las proporciones estequiométricas es el sistema Stock, según el cual FeCl_2 se nombra como cloruro de hierro (II) y FeCl_3 cloruro de hierro (III). Nombrar siguiendo el sistema Stock los siguientes compuestos: PbI_2 , PbI_4 , SnO_2 , Cu_2O , CuO , CO_2 , Cl_2O_7 , Mn_2O_7 , SO_3 , Fe_2O_3 , HgCl_2 .
NOTA: se recomienda utilizar la notación Stock para combinaciones de metal-no metal.
- A.18. Los compuestos de oxígeno con los no metales eran designados antiguamente como anhídridos. Hoy se designan como los demás óxidos. Así el anhídrido sulfuroso SO_2 se designa como dióxido de azufre. Indicar el nombre actual de los siguientes compuestos:

<u>nombre antiguo</u>	<u>fórmula</u>	<u>nombre actual</u>
anhídrido nitroso	N_2O_3	
anhídrido nítrico	N_2O_5	
anhídrido fosforoso	P_2O_3	
anhídrido fosfórico	P_2O_5	
anhídrido cloroso	Cl_2O_3	
anhídrido perclórico	Cl_2O_7	
anhídrido sulfuroso	SO_2	
sulfúrico	SO_3	
carbónico	CO_2	

Las dos actividades que siguen (A.19 y A.20) pueden servir de recapitulación de lo visto hasta aquí:

- A.19. Dar la fórmula de los siguientes compuestos: cloruro de litio, óxido de cinc, sulfuro de hierro (III), bromuro de mercurio (II), Ioduro de plomo (II), trióxido de azufre, sulfuro de cinc, tricloruro de fósforo, heptaóxido de dicloro, tetrayoduro de plomo, nitruro de magnesio.
- A.20. Nombrar de todas las formas vistas los siguientes compuestos: FeCl_3 , Cu_2O , Cl_2O_3 , P_2O_3 , SnCl_2 , NO_2 , Al_2O_3 , MnO_2 , Br_2O_3 , SO_3 , SO_2 , FeS .

II. Hidróxidos

- A.21. Un compuesto como el NaOH se denomina hidróxido de sodio. Teniendo en cuenta las configuraciones electrónicas de los átomos de sodio, hidrógeno y oxígeno, intentar establecer la estructura del mismo.
- A.22. Formular los siguientes compuestos: hidróxido de plomo (II), hidróxido de aluminio, hidróxido de calcio, hidróxido de potasio, hidróxido de cinc.
- A.23. Nombrar los siguientes compuestos: $\text{Sn}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Sn}(\text{OH})_4$, KOH , $\text{Cd}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

IV. Ácidos

Distinguiremos dos tipos de ácidos: Hidrácidos, formados por hidrógeno y un no metal, y Oxácidos, que contienen además de lo dicho antes hidrógeno.

Hidrácidos

- A.24. El cloruro de hidrógeno es un gas en condiciones normales que al disolverse en agua da lugar al ácido clorhídrico. Escribir su fórmula. Escribir y nombrar los ácidos hidrácidos correspondientes a los elementos F, Br, I, S, Se y Te.

Oxácidos

- A.25. Explicación por el profesor de algunos oxácidos (p.e. ácido sulfúrico). Formular ácido sulfuroso, hipocloroso, clórico, perclórico, nitroso, nítrico, carbónico.

Comentarios A.25

Se puede explicar, si se considera oportuno, la reacción entre el trióxido de azufre y el agua a nivel estructural, señalando la ruptura de unos enlaces y la formación de nuevos, haciendo uso de la información dada en el tema de enlaces. Indicamos a continuación una de las formas sistemáticas de formular ácidos: óxido de no metal + agua. Evidentemente debería quedar claro que esta forma de hacerlo es una regla práctica de formulación y no supone la certeza de su existencia ni de que se obtenga así en realidad. Conviene indicar los ácidos que no tienen existencia real como HIO_2 , HBrO_4 ,... y evitar la formulación de los mismos.

- A.26. Nombrar los siguientes ácidos: HBrO , HNO_2 , HIO , HIO_3 , HIO_4 .
- A.27. Los ácidos son sustancias que cuando actúan como tales en disolución acuosa, se disocian dando lugar a iones $\text{H}^+(\text{ac})$ e iones negativos. Así el HCl da lugar al ión $\text{Cl}^-(\text{ac})$; el H_2SO_4 da lugar al ión $\text{SO}_3^{2-}(\text{ac})$ o al $\text{HSO}_4^-(\text{ac})$ (según se pierdan los dos hidrógenos o uno de ellos solo). Escribir los aniones que se derivan de los siguientes ácidos: nítrico, sulfuroso, fosfórico, clórico, sulfhídrico, Iodhídrico.
- A.28. Además de los ácidos estudiados conviene conocer los siguientes ácidos por la importancia que ellos mismos o sus sales tienen.
- | | |
|--|--|
| HMnO_4 ácido permangánico | H_2CrO_4 ácido crómico |
| $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ ácido acético | $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ácido dicrómico. |
| H_3PO_4 ácido fosfórico | |
- A.29. Los aniones monoatómicos Cl^- , Br^- , S^{2-} , etc procedentes de los ácidos HCl , HBr , H_2S , etc se conocen con el nombre de cloruro, bromuro, sulfuro...etc Los aniones procedentes de los otros ácidos reciben

el nombre del ácido con el sufijo ATO o ITO según termine en ico u oso.

<u>ácido</u>	<u>fórmula</u>	<u>ión nombre del anión</u>
sulfuroso	H_2SO_4	
sulfúrico		
nítrico		
nitroso		
carbónico		
hipocloro		
cloroso		
clórico		
perclórico		
fosfórico		
clorhídrico		
Iodhídrico		
bromhídrico		
sulfhídrico		

V. Sales.

A.30. Los nombres de las sales se forman a partir de los iones constituyentes. Así: $KClO_3$ es el clorato de potasio, $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ cloruro de calcio hexahidratado. Nombrar las siguientes sales:

Na_2SO_4 , KNO_2 , $SnCl_4$, $Pb(NO_3)_2$, $PbCrO_4$, $Al(NO_3)_3$, $Ca_3(PO_4)_2$, ZnS , $Mg(ClO_4)_2$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, CuI_2 , $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, Li_2CO_3 .

A.31. Formular las siguientes sales:

permanganato de potasio, acetato de cobre (I), perclorato de sodio monohidratado, dicromato de potasio, hidrógeno carbonato de sodio, nitrito de sodio, acetato de plomo (II) sulfato de plata, nitrito de plata, sulfato de hierro (III) con nueve moléculas de agua, sulfato de estaño (II), fosfato de aluminio.

A.32. Construir una tabla de doble entrada con los cationes y aniones que se indican y formar todos los compuestos posibles, dando sus nombres.

cationes: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+} , Ag^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^+ , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Pb^{4+} .

aniones: Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-} , O^{2-} , OH^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , ClO_4^- , ClO_3^- , ClO_2^- , ClO^- .

REACCIONES QUIMICAS

El objeto de este capítulo, es fundamentalmente, establecer los principios básicos que rigen las reacciones químicas, lo que ayudará a producirlas y controlarlas.

A.1. Sugerir razones por las cuales interesa dominar la producción y control de las reacciones químicas y discutir, en general, la importancia de su estudio

Comentario A.1.

El debate en esta actividad debe mostrar que el control de los procesos químicos interesa fundamentalmente por tres tipos de razones: en primer lugar por razones de seguridad y prevención en el manejo de las sustancias (oxidación del hierro, inflamabilidad de determinados combustibles, explosiones, venenos,...). En segundo lugar, para obtener determinadas sustancias con propiedades controladas (aleaciones, plásticos, pinturas, fibras y barnices), muchas de las cuales no se presentan en la naturaleza y en tercer lugar para la utilización de la energía liberada en las reacciones químicas (combustión del carbón, fuel, madera, gasolina y pilas eléctricas).

La importancia de las reacciones químicas es evidente en multitud de aspectos de la vida cotidiana si consideramos que aborda una extensa gama de fenómenos desde las explosiones hasta los procesos vitales, crecimiento de los seres vivos, su metabolismo, etc. Todas las sustancias que diariamente manejamos son productos de reacciones químicas, actuales o remotas, espontáneas o provocadas aunque no percibamos a primera vista lo que está ocurriendo.

No es siempre fácil distinguir entre un proceso químico y uno físico, por lo que interesa detenerse en este aspecto antes de proceder al estudio de los procesos químicos.

A.2. Clasifica los siguientes procesos como químicos o físicos, señalando los criterios utilizados: evaporación de agua, combustión de pólvora, corrosión del hierro, disolución de sal común en agua, preparación de caramelo al calentar azúcar, obtención de hierro a partir de sus minerales.

Comentario A.2.

Aunque en general resulta sencillo reconocer un proceso como químico o físico por el hecho de la producción de nuevas sustancias, hay algunos cambios que difícilmente entran dentro de estas categorías. Un ejemplo es el de la disolución de un sólido en un líquido. Para clasificar estos cambios, generalmente se recurre a ver si por evaporación del líquido puede recuperarse el sólido inicial inalterado. Así en una disolución de sal común, esta puede recuperarse por evaporación cuidadosa, por lo que este proceso se puede considerar como cambio físico aún cuando la interacción entre los componentes sea considerable. Sin embargo la disolución de HCl(g) en agua debe considerarse como cambio químico, ya que las propiedades de la disolución son muy diferentes de la de los componentes y la evaporación no es un medio factible para recuperar por completo las sustancias iniciales. La clasificación de las disoluciones como cambios físicos o químicos muestra algunas dificultades en cuanto a las definiciones exactas que se pueden utilizar, presentándose algunos casos que se encuentran en la línea fronteriza.

El estudio de los procesos químicos que se propone en este curso intenta básicamente proporcionar una comprensión elemental de los mecanismos de reacción y hacer posible algunos cálculos relativos a las cantidades de sustancias que intervienen en las reacciones. De acuerdo con ello el desarrollo del tema se

ajustará al siguiente índice :

1. Algunos principios que rigen las reacciones químicas.
 - 1.1. Modelo elemental para la interpretación de las reacciones químicas.
 - 1.2. Factores de que depende la velocidad de reacción.
2. Cambios materiales en las reacciones químicas.
 - 2.1. Ajuste de las ecuaciones correspondientes a las reacciones químicas.
 - 2.2. Concepto de mol.
 - 2.3. Relaciones cuantitativas en las reacciones químicas.

1. ESTUDIO DE ALGUNOS PRINCIPIOS QUE RIGEN LAS REACCIONES QUIMICAS.

Una reacción química puede considerarse como la transformación de las sustancias, presentes inicialmente, que denominaremos reactivos, en otras que denominamos productos. Conviene pues, en primer lugar, conocer como tiene lugar el paso de reactivos a productos.

1.1. Modelo elemental para la interpretación de las reacciones químicas.

A.3. Explicar a modo de hipótesis como puede producirse una reacción química. Señalar las principales etapas del proceso. Concretar, por ejemplo, para el caso de la transformación de Iodo e hidrógeno en estado gaseoso en Ioduro de hidrógeno, también en estado gaseoso.

Comentario A.3.

La discusión de los alumnos y reformulaciones del profesor permiten establecer que para que una reacción tenga lugar:

Es necesario concebir un mecanismo de ruptura de los enlaces existentes en las sustancias reaccionantes que haga posible el establecimiento de nuevos enlaces, es decir, la formación de nuevas sustancias. Se sugiere así un mecanismo de choque de partículas que haría posible tanto la ruptura de enlaces (si la energía del choque es suficiente) como el establecimiento de nuevas uniones. Ello supone la necesidad de un aporte de energía (calentando, etc), lo que responde a la imagen ordinaria de como se inician las reacciones. El profesor puede completar esta imagen simplista haciendo referencia p.e. a la necesidad de que la orientación del choque sea favorable para la ruptura. Por otra parte es preciso considerar lo que ocurre energéticamente no solo al iniciarse la reacción (ruptura que precisa un aporte energético) como la formación de nuevas sustancias (establecimiento de nuevas uniones con la consiguiente liberación de energía). Esta discusión permite comprender por que ciertas reacciones prosiguen, una vez iniciadas, sin necesidad de nuevos aportes energéticos.

Se trata, en definitiva, y conviene hacérselo notar a los alumnos, de un modelo basado en la concepción atómico-molecular de la materia y en la teoría cinética, que supone un movimiento aleatorio de las partículas, debido a la agitación térmica.

Es preciso también aclarar durante la puesta en común que, muy a menudo, en una reacción toman parte tal número de partículas que sería imposible un choque simultáneo de todas ellas, dada la escasa probabilidad de tal suceso. En general pues, habrá que suponer que una reacción tiene lugar a través de una serie de pasos o etapas simples. Un aspecto del modelo que los alumnos no siempre tienen en cuenta y sobre el que es preciso llamar la atención, dada su importancia en la interpretación del equilibrio químico, es el de la posibilidad de reacción en sentido contrario (choques de partículas de los productos con regeneración de reactivos).

A.4. Indicar los aspectos fundamentales de una reacción química que convendría estudiar con detenimiento, tanto por su interés práctico como por confirmar y profundizar el modelo establecido.

Comentario A.4.

Las propuestas de los alumnos, completadas y reformuladas por el profesor llevan a establecer como aspectos fundamentales de una reacción química, en los que convendría profundizar, los siguientes: a) ¿qué tipo de sustancia se forma a partir de unos reactivos dados? b) ¿qué relación existe entre las cantidades de reactivos y productos? c) ¿qué cambios energéticos se producen en una reacción química? d) ¿con qué velocidad se produce una reacción? e) ¿hasta cuando prosigue una reacción química? (o dicho de otra

forma, ¿cuando terminará?). De estos aspectos sólo trataremos en este curso con detenimiento, los dos primeros relativos a los cambios materiales que se producen. Pero previamente abordaremos de forma elemental la velocidad con que se produce una reacción, ya que ello contribuye a profundizar cualitativamente el modelo de reacción propuesto.

1.2. Factores de que depende la velocidad de reacción.

A.5. Indicar, a título de hipótesis, partiendo del modelo elemental de reacción propuesto, de qué factores puede depender la velocidad de reacción, justificando cualitativamente dichas hipótesis.

Comentario A.5.

Partiendo del modelo de colisiones los alumnos se refieren a: a) grado de división de las sustancias reaccionantes (que favorece el contacto entre partículas y por tanto el número de choques). b) concentración de las sustancias reaccionantes, que afectará también al número de choques. c) temperatura, que afectará a la intensidad de los choques.

A.6. Sugerir algún montaje experimental sencillo para mostrar cualitativamente el papel del grado de división, la concentración y la temperatura en la velocidad de reacción.

Comentario A.6.

Para mostrar el papel del grado de división de los reactivos los alumnos sugieren la observación de reacciones como las del ácido clorhídrico con carbonato de calcio en trozos y en polvo. Pueden sugerirse otros ejemplos igualmente espectaculares como la combustión del magnesio en cinta y en polvo. Para determinar de forma cualitativa la influencia de la concentración en la velocidad de reacción, los alumnos proponen, utilizar una reacción cuyo curso sea fácil de seguir (cambio de color, producción de gases, etc.), preparando varias muestras en las que la concentración de uno de los reactivos no cambie. Cualquiera de las reacciones ya vistas (ácido clorhídrico con carbonato de calcio, etc.) puede servir al efecto (constatando simplemente la mayor o menor liberación de gas,...).

Para determinar de forma cualitativa la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción, la discusión permite llegar a propuestas de este tipo: introducir en varios erlenmeyer muestras iguales de p.e. ácido clorhídrico diluido y llevarlo a distinta temperatura, introducir en cada una de ellas una misma cantidad de p.e. cinc o carbonato de calcio (en igual estado de división). Las diferencias son por supuesto muy evidentes.

A.7. Realización de los experimentos cualitativos sugeridos.

Comentario A.7.

El profesor puede ahora referirse a los estudios más riguroso que han mostrado reiteradamente la validez de las conjeturas aquí expuestas y estudiadas cualitativamente. Se puede aprovechar la ocasión para resaltar el valor de este tipo de experiencias cualitativas en el proceso inicial de formulación precisa del problema y de la operativización de la hipótesis: antes de proceder a experimentos rigurosos los científicos, a menudo, intentan ver «grosso modo» si sus intuiciones van bien encaminadas. Pero, evidentemente, es preciso insistir una vez más en que estas experiencias por sí solas no permiten afirmar que se ha verificado alguna hipótesis.

A.7.bis (opcional). Sugerir de acuerdo con el modelo de reacción por colisiones entre partículas presentes, una explicación de como variará la velocidad de una reacción y cuando terminará esta.

Comentario A.7.bis (opcional).

Aún en el caso de que no se introduzca esta actividad conviene aclarar a los alumnos que- a menos que alguno de los productos se separe por ser volátil o precipitar- la reacción tendrá lugar en ambos sentidos hasta alcanzar un equilibrio dinámico. De este modo puede evitarse un error común consistente en suponer que la reacción prosigue hasta que se agotan los reactivos.

2. CAMBIOS MATERIALES EN LAS REACCIONES QUIMICAS.

A.8. El modelo propuesto para explicar las reacciones químicas como reordenación de átomos permite dar cuenta de algunas leyes, ya vistas en el capítulo XIII, referentes a las cantidades de sustancias que reaccionan. Exponerlas, justificándolas brevemente.

Comentario A.8.

Las principales implicaciones del modelo de reacción propuesto, en lo que respecta a los intercambios materiales que tienen lugar, han sido ya consideradas y sometidas a contrastación, dado el papel básico que juegan en el establecimiento de la propia teoría atómica molecular.

Por supuesto los alumnos se refieren aquí, de nuevo, a la conservación de la masa total (si el sistema permanece cerrado), y a la proporcionalidad de las cantidades de sustancias que reaccionan (reactivos y productos), que puede considerarse implícita en la ley de las proporciones definidas, ambas verificadas en el capítulo XIII.

Conviene aquí señalar que las técnicas de análisis cuantitativo presuponen la validez (y pueden considerarse como evidencia experimental) de este aspecto del modelo. Y lo mismo puede decirse de todos los procesos de obtención de unas sustancias a partir de otras en lo que se refiere a los cálculos de cantidades obtenidas, etc.. Estos son los aspectos que pueden abordarse aquí, como ejemplos de aplicación, dado que las leyes generales ya han sido verificadas.

Las dos leyes introducidas -conservación de la masa y ley de las proporciones constantes- permiten escribir ecuaciones químicas que expresan la reacción química y realizar cálculos que predicen correctamente las proporciones de cantidades que reaccionan y se forman.

Nos ocuparemos en primer lugar de la construcción de las ecuaciones químicas.

2.1. Ajuste de las ecuaciones químicas.

A.9. El hierro en contacto con el oxígeno forma, en determinadas condiciones, óxido de hierro (III). Escribir la ecuación correspondiente a dicha reacción, teniendo en cuenta los principios generales que rigen los intercambios materiales que acabamos de revisar. Proponer un algoritmo para escribir correctamente una ecuación química.

Comentario A.9.

Los alumnos suelen cometer aquí varios tipos de error: aplicar la conservación de los átomos, olvidándose de las fórmulas de los compuestos (p.e. $O_2 + Fe \rightarrow FeO_2$) o ignorar la conservación ($Fe + O_2 \rightarrow Fe_2O_3$). El primero de estos errores, es sobre todo muy frecuente y aparece, por intentar aplicar de entrada el principio de conservación. Conviene pues discutir la construcción de un algoritmo lógico para escribir las ecuaciones químicas.

A.10. Aplicar el algoritmo propuesto para construir la ecuación química correspondiente a la reacción entre el gas propano, C_3H_8 , y el oxígeno para obtener dióxido de carbono y vapor de agua.

A.11. Escribe las ecuaciones químicas correspondientes a los siguientes procesos (indicar a título de hipótesis los productos que se formarán):

- gas cloro y sodio
- la formación de óxido de hierro (II) a partir de sus elementos.
- la descomposición de carbonato de calcio a elevada temperatura en dióxido de carbono y óxido de calcio.
- cloruro de sodio y ácido sulfúrico.
- síntesis de amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno.
- Magnesio y oxígeno
- la formación de dióxido de carbono a partir de sus elementos.
- el dióxido de azufre con el oxígeno para dar trióxido de azufre.
- el hierro con el cloro para obtener cloruro de hierro (II)
- ácido clorhídrico con hidróxido de potasio
- ácido nítrico con hidróxido de sodio

- l) nitrato de potasio y ácido sulfúrico
- m) ácido sulfúrico con óxido de calcio
- n) nitrato de plata y cloruro de sodio
- o) cloruro de hidrógeno y amoníaco
- p) sulfato de cobre (II) y hierro para dar sulfato de hierro (III) y cobre.

Comentario A.10. y A.11.

Se pretende una práctica reiterada del ajuste de ecuaciones y de la formulación química, que fue introducida en el capítulo de enlace químico. También es conveniente que en las ecuaciones propuestas el alumno indique el estado físico de las sustancias que participan.

- A.12. Llevar a cabo en el laboratorio y escribir la ecuación química de las siguientes reacciones, indicando el estado físico de todas las sustancias que intervengan:
- a) Ioduro de sodio y nitrato de plomo (II)
 - b) hierro y sulfato de cobre (II)
 - c) ácido sulfúrico y óxido de cobre (II)
 - d) cloruro de amonio y óxido de calcio
 - e) cinc y ácido clorhídrico

Comentario A.12.

Las reacciones propuestas tienen interés, algunas por su espectacularidad (p.e. la formación del Ioduro de plomo (II), el cual al dejarlo enfriar da lugar al efecto conocido como «lluvia de oro»), otras por plantear técnicas básicas de laboratorio (p.e. ¿cómo recoger un gas en el laboratorio e identificarlo? caso de la obtención de hidrógeno y amoníaco).

- A.13. Un alumno ha escrito las siguientes reacciones. Analizarlas e introducir las correcciones que consideréis oportunas:
- a) $K + F \rightarrow KF$
 - b) $3 H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2 H_3Cl$
 - c) $2 Ca(s) + O_2(g) \rightarrow 2 CaO$
 - d) $C + O \rightarrow CO_2$
 - e) $Ca + O \rightarrow CaO$
 - f) $H + Cl \rightarrow HCl$

2.2. Concepto de mol.

- A.14. Extraer el máximo de información que proporciona la ecuación química correspondiente a la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno
- $$2 H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2 H_2O(g)$$

Comentarios A.14

Una vez visto el ajuste de una ecuación química, se ha de proceder a hacer ya explícita la información que nos proporciona. de acuerdo con lo visto hasta aquí, se puede llegar a una primera lectura de dicha reacción: en concreto el ejemplo propuesto nos indica «que cada dos moléculas de hidrógeno que reacciona lo hacen con una molécula de oxígeno para formar dos moléculas de agua». La misma relación existe, naturalmente, para cualquier múltiplo de las cantidades anteriores.

Es posible -y algunos alumnos lo señalan- proceder a una lectura en términos de masa (conociendo la masa atómica y molecular de las sustancias que intervienen), conviene detenerse en ello y mostrar que esta relación puede establecerse en unidades de masa atómica o, de nuevo, en cualquier múltiplo. Así sería posible leer la ecuación anterior diciendo que «cada 4 uma de hidrógeno reaccionan con 32 uma de oxígeno para dar 36 uma de agua». Pero también «cada 4 g de hidrógeno reaccionan con 32 g de oxígeno para dar 36 g de agua», lo mismo se diría en Kg.

Como las uma no son, obviamente prácticas, se utiliza como múltiplo el número de gramos igual a la masa atómica o molecular relativa. Por otra parte se ha de clarificar que la elección de este múltiplo de las masas atómicas y moleculares supone manejar números de partículas muy elevados pero que, sin duda, han de ser múltiplos de las cantidades sencillas que se leen directamente en la ecuación. Así si la

ecuación indica que cada dos moléculas de hidrógeno que reacciona lo hacen con una molécula de oxígeno dando dos moléculas de agua, tendremos que 4 g de hidrógeno reaccionan con 32 g de oxígeno. Es decir, se ha de insistir en que la proporción en moléculas debe ser la misma: en este caso, cada 2N moléculas de hidrógeno reaccionan con N moléculas de oxígeno para dar 2N moléculas de agua. A esta N, que es el número de partículas contenidas en la masa molecular o atómica de una sustancia, expresada en gramos, es a lo que se denomina mol como expresión de la cantidad de sustancia. Las dificultades que presenta el concepto de mol y conceptos relacionados en él, se tratarán en los comentarios de A.16.

Otra forma de introducir el concepto de mol es a partir de las actividades A.15. A.16.

A.15. Si las masas atómicas del H y O son respectivamente 1 y 16. Dar 5 valores de las masas para cada uno de ellos, de forma que tengan el mismo número de átomos en cada caso.

A.16. Dados dos compuestos o elementos, demostrar que cantidades de los mismos que estén en la misma proporción que sus masas moleculares (o atómicas) contienen el mismo número de partículas.

Comentarios A.16.

Digamos de entrada que este tipo de razonamiento no resulta fácil para los alumnos. Una forma relativamente sencilla consiste en proponerles que expresen las masas respectivas de ambas sustancias en función de sus masas moleculares M_a y M_b y los números de partículas N_a y N_b , pasando después a obtener la proporción m_a/m_b que según el enunciado es la misma que M_a/M_b

De acuerdo con ello

$$m_a = N_a M_a \quad \text{y} \quad m_b = N_b M_b$$

de donde

$$m_a/m_b = N_a M_a / N_b M_b \quad \text{y como} \quad m_a/m_b = M_a/M_b$$

los alumnos obtienen que N_a y N_b tienen que ser iguales. Insistimos, sin embargo, en que una plena comprensión de estos cálculos no resulta sencilla para los alumnos y exigen reiteración e incluso el recurso a objetos materiales (esferas de distinta masa p.e.) con objeto de permitirles que reviertan a la etapa de operaciones concretas en la que como siempre que se aborda un dominio desconocido se sienten más seguros (Dudley 1978).

Las actividades 15 y 16 que acabamos de realizar muestran el interés de considerar cantidades de sustancias que son proporcionales a sus masas moleculares o atómicas. Ello ha conducido a introducir el concepto de mol que facilita mucho los cálculos de cantidades de sustancias que intervienen o se forman en una reacción.

A.17. Introducción por el profesor del concepto de mol.

Comentario A.17.

Una vez visto que cantidades de dos o más elementos tendrán el mismo número de partículas, si están en la misma proporción que sus respectivas masas moleculares o atómicas, se puede definir el mol como «cantidad de sustancia que contiene el mismo número de partículas (ya sean átomos, moléculas, iones, etc.) que 12 g de carbono de masa atómica 12».

Conviene señalar las dificultades que presenta el aprendizaje del concepto de mol y conceptos relacionados con él, (p.e. el error del alumno que supone que un mol de compuesto reacciona siempre con un mol de otro compuesto independientemente de la estequiometría, errores en el ajuste de ecuaciones que ya hemos comentado anteriormente, etc.). Por otro lado encontramos en los libros de textos varias formas de definir el concepto de mol, algunas de ellas incorrectas, que muestran que unas veces se define como peso o masa, volumen de gas y otras como un número de partículas. Las dificultades mencionadas así como los errores en el concepto de mol han sido objeto de estudio a lo largo de la enseñanza de la química. Mencionaremos a continuación algunos de los trabajos al respecto: Duncan y Johnston (1973); Novik y Menis (1976); Kolb (1978); R, Cervellati y otros (1982).

A.18. ¿Cuál es la masa de un mol de átomos de nitrógeno? ¿y de un mol de moléculas de nitrógeno?
 ¿Cuál es la masa de un mol de moléculas de amoníaco?
 ¿Cuál es la masa de un mol de moléculas de fósforo (P_4)

- A.19. Hallar los moles de átomos de S en 6.02 g de azufre.
Hallar los moles de átomos de N en 28 g de nitrógeno.
- A.20. Hallar la masa de 3 moles de átomos de oxígeno.
Hallar la masa de 5 moles de átomos de sodio.
- A.21. Determinar el número de moles de moléculas de:
- 34 g de amoníaco
 - 17 g de sulfuro de hidrógeno
 - 40 g de dióxido de carbono.
- A.22. Determinar la masa de:
- un mol de moléculas de dióxido de azufre
 - 2 moles de moléculas de cloruro de hidrógeno
 - 3.2 g de ácido sulfúrico
 - 1.5 moles de cloruro de sodio
- A.23. ¿Qué masa es mayor?
- 0.2 g de HNO_3
 - 0.5 moles de Na
 - 1/4 mol de CO_2
- A.24. a) ¿Cuántas moles de moléculas hay en 60 g de agua?
b) ¿Cuántos moles de H y O hay en los moles de agua calculados en el apartado anterior?
c) ¿Cuántos gramos de oxígeno e hidrógeno hay en 60 g de agua?
- A.25. a) ¿Cuántas moléculas hay en un mol de N?
b) ¿Cuántos átomos hay en un mol de N_2 ?
- A.26. a) ¿Cuántos moles de átomos de sodio hay en 30 g de sodio?
b) ¿Cuántos átomos hay en los moles de sodio calculados en a)?
c) ¿Cuál es la masa de un átomo de sodio?
- A.27. a) ¿Cuántos moles de moléculas hay en 54 g de NH_3 ?
b) ¿Cuántas moléculas hay en los moles de amoníaco calculados en a)?
c) ¿Cuál es la masa de una molécula?

Comentarios A.18. - A.27

En estas actividades se plantean ejercicios para manejar reiteradamente el concepto de mol. Conviene insistir en la expresión correcta de resultados. Por ejemplo se puede hablar de un mol de NaCl pero no de un mol de moléculas de NaCl, ya que el cloruro de sodio es un compuesto que no presenta moléculas.

Ya sabemos que la concentración de una disolución puede expresarse indicando gramos de soluto por cada gramo de disolución. Existen otras formas de expresar la concentración de una disolución, una de ellas tiene que ver con el concepto de mol, se denomina molaridad (M) y se define como moles de soluto por cada litro de disolución:

- A.28. ¿Qué ventajas puede tener expresar la concentración de una disolución en moles de soluto por cada litro de disolución?
- A.29. Calcular la concentración molar de una disolución preparada disolviendo 8,45 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada de modo que se obtenga 850 cm^3 de disolución.
- A.30. Describir detalladamente como prepararías 200 cm^3 de una disolución de sulfato de cobre (II) pentahidratado 2 M. Proceder a preparar dicha disolución en el laboratorio.

- A.31. (opcional) Calcular la concentración molar de una disolución preparada disolviendo $7,0 \text{ cm}^3$ de una disolución acuosa de ácido clorhídrico, $\text{HCl } 12 \text{ M}$ en agua destilada de modo que se obtenga 200 cm^3 de disolución.
- A.32. (opcional). ¿Cómo se prepararía, por ejemplo, un volumen determinado de una disolución de un ácido de concentración conocida, a partir de una disolución del mismo ácido de concentración superior y conocida? Proceder a la preparación de la disolución indicada por el profesor en el laboratorio.

Comentarios A.28 - A.32.

El concepto de disolución así como la forma de prepararlas ya se vio en el capítulo 15. La concentración de una disolución la expresábamos en gramos de soluto por litros de disolución, dado el papel jugado por el concepto de mol en las reacciones químicas, y que muchas de ellas se llevan a cabo en disolución, expresaremos la concentración de una disolución en moles de soluto por litro de disolución.

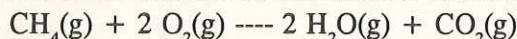
Conviene señalar los errores cometidos por los alumnos al preparar una disolución (p.e. en la A.30. calculan la cantidad de soluto en gramos e indican que se lo añadieran a los 200 cm^3 de agua.)

Una vez introducido el concepto de mol podemos volver al estudio de las cantidades de sustancias que intervienen en una reacción química.

2.3. Relaciones cuantitativas en las reacciones químicas

Cuando leemos la ecuación química correspondiente a una reacción química estamos obteniendo información acerca de la proporción en que los distintos compuestos participan en esa reacción, y, puesto que lo que tenemos son proporciones, nos es indiferente las unidades empleadas para medir las cantidades de sustancias y así resulta que podemos hablar de átomos, moléculas, gramos, litros, moles de productos (o de reactivos).

- A.33. Extraer el máximo de información contenida en la ecuación química:



Comentarios A.33.

a) *proporciona información cualitativa: indica las sustancias que intervienen (composición y estado físico)*

b) *proporciona información cuantitativa a dos escalas: escala atómica y escala molar.*

escala atómica:

«Cada molécula de CH_4 que reacciona lo hace con dos moléculas de oxígeno dando dos moléculas de agua y una molécula de dióxido de carbono.

escala molar:

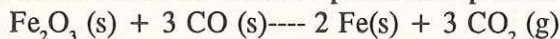
Cada mol de CH_4 que reacciona lo hace con dos moles de oxígeno dando un mol de dióxido de carbono y dos moles de agua».

También podemos establecer las relaciones en gramos, teniendo en cuenta las masas moleculares:

«Cada 18 g de CH_4 que reaccionan lo hacen con 64 g de oxígeno dando 44 g de dióxido de carbono y 36 g de agua».

De manera similar podemos establecer una relación de moléculas teniendo en cuenta la constante de Avogadro.

- A.34. En un alto horno, los procesos químicos reales que ocurren son complejos, no obstante el proceso global de obtención de hierro lo podemos representar mediante la siguiente ecuación:



- Explica el significado de esta ecuación química.
- ¿Cuántos moles de hierro se obtienen por cada 5 moles de CO ?
- ¿Cuántos gramos de hierro pueden obtenerse a partir de 1 Kg de óxido de hierro (III)?
- ¿Cuántos moles de CO reacciona con 1 Kg de óxido de hierro (III)?.

- A.35. El magnesio reacciona con oxígeno para formar óxido de magnesio.

- Escribir la ecuación química correspondiente

b) Calcular los gramos de óxido de magnesio que pueden obtenerse a partir de 1,2 g de magnesio y 2,0 g de oxígeno, indicando los gramos de reactivo en exceso.

En un gran número de reacciones químicas intervienen sustancias en estado gaseoso, y disueltas. Por ello es frecuente que en lugar de conocer la cantidad de sustancia en gramos se conozca el volumen ocupado por el gas a una cierta presión (P) y temperatura (T) o el volumen de disolución de una cierta concentración, etc. Es pues necesario el aprender a calcular el número de moles a partir de esos datos. A continuación veremos como hacerlo.

A.36. Recordemos que la ecuación de los gases era $P V = K N T$. Transformar dicha ecuación de modo que aparezca el número de moles de gas.

A.37. Calcular el volumen que ocupará un mol de cualquier gas en condiciones normales de presión y temperatura (760 mm Hg y 0°).

Comentario A.36.

Los alumnos comprenden sin dificultad que hay que sustituir N , número de partículas por su múltiplo n (número de moles) modificando el valor de la constante. Así para $N =$ constante de Avogadro, tenemos que $KN=R$, de tal forma que para n moles la ecuación queda de la siguiente forma:

$$PV = n R T$$

Se puede proporcionar ahora el valor de R , así como sus unidades para hacer posible los cálculos que se plantean en las actividades siguientes:

A.38. Se tienen 6,15 litros de oxígeno a 2 atmósferas y 27°C. Calcular:

- el número de moles de moléculas de oxígeno.
- la masa de oxígeno correspondiente a dichos moles.
- Calcular la densidad del oxígeno.

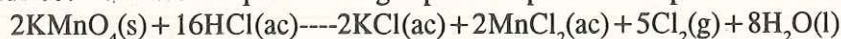
A.39. Cuando se quema completamente gas etano, C_2H_6 , se produce dióxido de carbono y vapor de agua.

- Escribir la ecuación química correspondiente.
- Calcular el volumen de dióxido de carbono, medido en c.n., que puede obtenerse al quemar completamente 120 cm³ de etano, medido en c.n.
- Calcular moles de oxígeno necesarios para quemar completamente 80 cm³ de etano, medidos en c.n.

A.40. El ácido clorhídrico reacciona con Zn(s), formándose cloruro de cinc (ac) e hidrógeno:

- Escribe la ecuación química correspondiente
- Calcula el volumen de hidrógeno, medido en c.n., que se puede obtener al reaccionar 100 cm³ de una disolución de HCl 2 M con una cantidad determinada de cinc.
- ¿Cuántos gramos de cloruro de cinc se formarán en las condiciones del apartado anterior?

A.41. El cloro puede obtenerse en el laboratorio haciendo reaccionar permanganato de potasio con ácido clorhídrico. La reacción que tiene lugar puede representarse por la ecuación química:



- Calcular los gramos de $KMnO_4$ que habrán reaccionado para obtener 100 cm³ de cloro medidos a 25°C y 500 mm de Hg.
- Calcular el volumen de Cl_2 , en c.n., que puede obtenerse cuando 100 cm³ de una disolución de $KMnO_4$ 0,5 M reacciona con exceso de HCl(ac).

Estudio de algunas reacciones de interés

Entre las reacciones químicas de especial interés se encuentran las llamadas reacciones ácido-base. Estas sustancias se conocían desde el siglo XII y aún antes de él y estaban caracterizadas por una propiedades determinadas. Estas propiedades proporcionan la definición más simple para esta clase de sustancias. A continuación vamos a establecer algunas propiedades de los ácidos y las bases a partir de nuestras observaciones ordinarias, y con experiencias de laboratorio.

- A.42. Escribe una relación de sustancias que puedan considerarse como ácidos. Cita algún ejemplo de base.
- A.43. A partir de nuestras observaciones ordinarias ¿qué propiedades atribuyes a los ácidos y a las bases?
- A.44. Con objeto de contrastar y ampliar las ideas expuestas en la actividad anterior diseñar experiencias de ácidos y bases y llevarlas a cabo en el laboratorio.

Comentarios A.42 - A.44.

En la A.42. se ha discutido algunas de las propiedades de los ácidos y bases (conductividad eléctrica, neutralización, comportamiento frente a un indicador etc.). Los alumnos fácilmente proponen diseños para la contrastación de las mismas, así para averiguar si estas sustancias conducen o no, basta un circuito provisto de una pila, bombilla o de un galvanómetro y dos electrodos.

Actividades complementarias

- A.45. Realizar un pequeño estudio de alguna de las industrias químicas que puedan existir en vuestro entorno (realizando si es posible la visita de la misma). Escribir un resumen que incluya desde los objetivos de dicha industria hasta los posibles problemas que plantea, pasando por una descripción de cuales son las materias primas, las reacciones químicas que tienen lugar, etc.
- A.46. Describir recogiendo la información necesaria, cuál es la química de la combustión que tiene lugar en un automóvil.
- A.47. Realizar un pequeño estudio sobre la lluvia ácida que acompaña al desarrollo de algunas industrias químicas.

LA QUIMICA DEL CARBONO: UN NUEVO NIVEL DE ORGANIZACION DE LA MATERIA

1. INTRODUCCION

Quizás pueda parecer extraño que en un curso general de las ciencias fisico-químicas en el que nos hemos de limitar a la presentación de sus aspectos fundamentales, dediquemos un capítulo a la química de un único elemento. Existen sin embargo, como veremos, poderosas razones para ello.

A.1. Elaborar una relación indicativa de las sustancias, materiales, etc, de los que se supone que forma parte el carbono.

Comentarios A.1

La consideración de las relaciones de materiales elaboradas por los alumnos debe permitir dejar claro el papel fundamental que el carbono juega en los seres vivos. El profesor puede precisar que, pese a no ser uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre (menos del 1%), se conocen muchos más compuestos del mismo que del resto de los elementos conjuntamente, si exceptuamos el hidrógeno que le acompaña en la casi totalidad de sus compuestos.

Conviene, por otra parte, no resaltar demasiado, en este primer momento, el papel del carbono en la enorme serie de productos sintéticos -para no interferir en la realización de las actividades A.3 y A.4- posponiendo este aspecto a la actividad A.5.

A.2. Acabamos de ver que un gran número de productos naturales tienen en su composición al carbono como uno de sus elementos básicos, acompañado en general por el hidrógeno. Exponer algún procedimiento sencillo para detectar la presencia de proporciones elevadas de C e H en dichos productos.

Comentarios A.2

Los alumnos se refieren, por supuesto, a la facilidad de combustión de dichos productos, con formación de CO₂, H₂O y escasos residuos sólidos. A menudo algún grupo menciona también el efecto que produce un fuerte calentamiento sin combustión («como el que tiene lugar cuando olvidamos algo en el horno») que conduce a la carbonización, es decir, a un residuo importante de carbono.

El profesor puede impulsar a afinar los procedimientos de análisis y referirse a la importancia de los mismos en los controles de calidad de alimentos, etc.

En cualquier caso, esta actividad permite evitar un tratamiento puramente verbal y da lugar a ensayos cualitativos -que incluso pueden realizarse en casa- y a la interpretación de fenómenos de la vida cotidiana.

A.3. El enorme número de compuestos de carbono presentes en los seres vivos -vegetales y animales- con una composición más compleja que las sustancias de origen mineral, condujo a lo que se denomina «teoría vitalista»: según esta teoría existiría una auténtica barrera entre los compuestos minerales o «inorgánicos» y los procedentes de sustancias vivas u «orgánicos», de forma que estos últimos no podrían ser sintetizados en el laboratorio y precisarían de una «fuerza vital» que sólo los seres vivos poseen. Comentar esta concepción vitalista y, en particular, sugerir alguna estrategia dirigida a su contrastación.

Comentarios A.3.

Esta es una actividad que puede ser muy útil para discutir la importancia de la ideología en el trabajo

científico, rompiendo con la visión estereotipada y errónea de la «objetividad del científico» (Aikenhead 1985). De hecho, detrás de esta discusión sobre la posibilidad o no de sintetizar los compuestos orgánicos, aparece la confrontación entre las concepciones creacionistas -que sostentan la necesidad de la «fuerza vital» y la incapacidad del hombre para sintetizar sustancias orgánicas- frente a las inmanentistas. Es importante poner de relieve estas connotaciones ideológicas y no esconder los aspectos más debatibles y apasionantes del trabajo científico (Gil 1985).

La estrategia solicitada para la contrastación de la teoría vitalista conduce a los alumnos a sugerir la búsqueda de los compuestos orgánicos más sencillos y concentrar en ellos los intentos de síntesis. El profesor puede hacer referencia a los trabajos de Whöler, Kolbe, Berthelot...

El aprovechamiento del debate sobre la teoría vitalista puede completarse en la actividad siguiente A.4:

A.4. La teoría vitalista es un claro ejemplo de la postura ideológica que se ha opuesto, a lo largo de la historia de las ciencias, a una imagen unitaria de la materia. Recordad otras «barreras» semejantes y comentar su influencia

Comentarios A.4.

Con esta actividad se facilita una revisión de la lucha de la ciencia por la libertad de pensamiento y acción. Los alumnos recuerdan así la visión aristotélico/escolástica -que introducía una neta separación entre mundo sublunar y supralunar- y todo el debate entre geocentrismo y heliocentrismo, asociado a condenas, encarcelamientos e incluso muertes. Y puede citarse también el rechazo del origen animal del hombre y la condena de la teoría evolucionista, con la inclusión (¡en pleno siglo XIX!) de la obra de Darwin en el Index Librorum Prohibitorum.

A.5. Tras el hundimiento de la teoría vitalista, la síntesis de compuestos orgánicos se ha generalizado y ha conducido tanto a la obtención en el laboratorio de sustancias naturales como a la creación de otras nuevas. Enumerar algunas de las más importantes aplicaciones de las síntesis orgánicas.

Comentarios A.5.

Es ahora el momento de referirse a la enorme importancia de la síntesis orgánica: desde las vitaminas a los plásticos pasando por las fibras artificiales y la casi totalidad de los medicamentos (antibióticos,...). Y puede ser también una buena ocasión para comentar los peligros prácticos de ciertas barreras ideológicas.

2. ESPECIFICIDAD DE LA QUIMICA DEL CARBONO

La indudable unidad de toda la materia -de la que son expresión cuantitativa los principios de conservación y transformación- no deben esconder que existe realmente una diferencia cualitativa entre el comportamiento del carbono y el resto de los elementos; una diferencia que, aunque explicable por los mismos principios de estructura electrónica que justifican las propiedades de cualquier elemento, merece ser resaltada:

A.6. Considerar la estructura electrónica del carbono y tratar de explicar las enormes posibilidades de combinación de este elemento con el hidrógeno y consigo mismo, dando lugar a compuestos constituidos por cadenas de tamaño variable, con o sin ramificaciones, etc

Comentarios A.6.

Se intenta con esta actividad que los alumnos vean las ilimitadas posibilidades de formación de compuestos a partir de enlaces, naturalmente, covalentes.

Aunque en el tema de enlace no se ha visto nada sobre modelos moleculares -de acuerdo con el carácter necesariamente elemental de este curso- la discusión sobre la tetravalencia habitual del carbono puede utilizarse para que el profesor -si dispone del tiempo suficiente- haga una introducción muy elemental a la distribución de las nubes electrónicas, justificando su orientación en el espacio. Ello permite una utilización significativa de los modelos moleculares para la construcción de moléculas orgánicas y una llamada de atención sobre las limitaciones del modelo de puntos.

El profesor puede dar también algunas indicaciones -o remitir a algún libro de datos- sobre la estabilidad de los enlaces C-C y C-H.

A.7. Predecir las fórmulas de tres compuestos de C e H con, respectivamente, 1, 2 y 3 átomos de carbono.

A.7.bis Construir los modelos moleculares de los compuestos de la actividad A.6

Comentarios A.7 y A.7.bis

Estas actividades permiten mostrar la potencia predictiva del modelo. El profesor puede aprovechar para referirse -sin insistir- a las posibilidades de compuestos con doble y triple enlace entre carbono y carbono. Y posponiendo el estudio sistemático de la nomenclatura de los hidrocarburos a cursos más avanzados, puede hacer referencia a que se trata de sustancias bien conocidas y de uso cotidiano como el metano o el propano. Según el tiempo disponible se puede insistir en actividades de este tipo:

A.8. (optativa). ¿Cuántos compuestos distintos de cuatro átomos de carbono (con sólo simples enlaces) se pueden formar? Escribir sus fórmulas y construir posteriormente los modelos moleculares.

A.9. Muchos compuestos orgánicos, además de átomos de C e H pueden contener algún átomo de otros elementos capaces de formar enlaces covalentes con el C. Señalar algunos de estos elementos

Comentarios A.9.

Los alumnos se refieren, lógicamente, al oxígeno, nitrógeno, etc. La actividad constituye en cierto modo una revisión de algunas ideas clave vistas en el capítulo de enlace y, en particular sobre el enlace covalente.

A.10. Predecir distintas formas de unirse dos átomos de carbono, uno de oxígeno y los hidrógenos necesarios. Construir posteriormente los modelos moleculares.

Comentarios A.10.

Con esta actividad los alumnos pueden adquirir una visión más completa de las enormes posibilidades de combinación que presenta el carbono y comprender por qué el número de compuestos orgánicos supera con creces a los inorgánicos. El profesor puede aprovechar para referirse al cambio cualitativo que ello supone: existe ahora una variación muy gradual de propiedades de unas sustancias a otras, por lo que con pequeños intercambios energéticos se producen fácilmente transformaciones de unas a otras. Y puede terminar señalando cómo todo ello sienta las bases para el surgimiento de la vida. La actividad permite, además, referirse a sustancias bien conocidas por los alumnos: alcohol, ácido acético... Digamos, por último, que puede ser útil ahora incluir una actividad como la siguiente:

A.11. (optativa). Estudiar experimentalmente algunas propiedades de sustancias orgánicas de fácil acceso (etanol, glucosa, naftaleno...) para corroborar el tipo de uniones atribuido a las mismas en las actividades A.6, A.9 y A.10

Comentarios A.11.

Esta actividad permite revisar y poner en práctica algunos de los procedimientos de distinción entre tipos de sustancias que se vieron en el capítulo de enlace, contribuyendo así -junto a las actividades A.2, A.7.bis o A.8- a evitar un estudio excesivamente verbal y poco práctico. Nos remitimos aquí a lo visto en el capítulo XVII sobre la clasificación de las sustancias atendiendo a sus propiedades.

Terminamos aquí esta breve introducción a la química del carbono que aparece como un nuevo nivel de organización de la materia con características propias y que merecería, sin duda, un tratamiento mucho más profundo.

3. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.12. Proceder -tras las consultas bibliográficas pertinentes- a la fabricación de jabón.

- A.13. Hemos visto como la materia orgánica puede quemarse con facilidad, liberando gran cantidad de energía. Recordar un proceso vital que pueda considerarse una «combustión controlada», explicando su función, características, etc.
- A.14. ¿Por qué se recomienda tomar terrones de azúcar tras un esfuerzo?
- A.15. Proponer ejemplos del papel de la Química en la explicación de los procesos vitales.
- A.16. La utilización del petróleo como combustible -cuyas reservas son, evidentemente, limitadas- puede considerarse un caso extremo de sometimiento a la política de intereses a corto plazo con grave perjuicio para las futuras generaciones. Enumerar productos importantes que se obtienen a partir del petróleo y recomiendan evitar su despilfarro como combustible. Proponer así mismo otras alternativas energéticas
- A.17. Buscar información sobre el llamado «efecto invernadero», sus peligros y posibles formas de contrarrestarlo

Comentarios A.16 y A.17

Se trata de actividades concebidas para facilitar la discusión sobre la responsabilidad de los científicos y la necesidad de que los ciudadanos adquieran la formación que les permita intervenir conscientemente en la toma de decisiones (Aikenhead 1985; Penick y Yager 1986). Esta discusión puede completarse con la consideración de otros efectos como la «lluvia ácida», «smog», etc.

- A.18. El desarrollo de la Física, la Química y las demás ciencias contribuye a mostrar la unidad de toda la materia. Pero también muestra que se trata de una unidad estructurada, con niveles de organización que se rigen por leyes propias, no reducibles a las del nivel inferior, y con procedimientos de transformación dentro de cada nivel y de uno a otro nivel. A modo de síntesis, proponer la elaboración de un esquema de los distintos niveles de organización de la materia.

Comentarios A.18.

Con esta actividad pretendemos favorecer una síntesis que -abrazando desde los niveles subatómicos a la materia orgánica, la biología o las mismas historia y psicología- muestre la capacidad de las ciencias para interpretar la realidad, para construir una imagen sugerente y enriquecedora, más allá de los habituales planteamientos operativistas o de visiones simplistas (Gil 1981)

APROXIMACION AL TRABAJO CIENTIFICO

Un curso que pretende, como objetivo prioritario contribuir a la familiarización con la metodología científica, exige una clarificación de lo que constituye dicha metodología, para salir al paso de habituales confusiones que conviene deshacer desde el mismo comienzo. De acuerdo con ello este tema se desarrollará según el siguiente esquema:

1. Características básicas de la metodología científica
2. Modo de crecimiento de las ciencias.
3. Relaciones ciencia-sociedad.

Después de esta visión general abordaremos con más detalle dos aspectos esenciales de la metodología científica cuya revisión resulta conveniente para salir al paso de posibles carencias y fijar los criterios a utilizar en este nivel:

4. Análisis del proceso de medida.
5. Construcción e interpretación de gráficos como técnica de análisis de resultados.
6. Actividades complementarias.

Comentario general para el profesorado.

Idéntico al del mismo capítulo en la opción A.

1. ALGUNAS CARACTERISTICAS GENERALES DEL TRABAJO CIENTIFICO

- A.1. Enumerar las distintas actividades que forman parte de la metodología científica.
- A.2. Dar un opinión fundamentada de cuál puede considerarse la primera etapa de una investigación científica.
- A.3. Exponer las ideas que se posean sobre el concepto de hipótesis científica, señalando sus características esenciales.
- A.4. Enumerar los requisitos fundamentales de un experimento científico.
- A.5. Exponer algunas de las técnicas adecuadas para la interpretación de los resultados de un experimento.
- A.6. Exponer las ideas que se posean sobre lo que se entiende por leyes y por teorías científicas.
- A.7. Elaborar, a modo de síntesis de lo visto hasta aquí, un diagrama de un ciclo de investigación.

2. EL MODO DE CRECIMIENTO DE LAS CIENCIAS

- A.8. Supuesto que se haya definido una magnitud C que determina, de forma aproximada, el nivel científico de una época en un dominio concreto, tratar de representar cualitativamente la variación de C en función del tiempo. Es decir, tratar de plasmar en dicho gráfico la «forma» de evolución de los conocimientos en un dominio determinado.

A.9. Enunciar algunos de los cambios profundos o discontinuidades producidos en el desarrollo de las ciencias (en cualquiera de sus dominios (física, biología...)).

3. CIENCIA-SOCIEDAD

A.10. Exponer las relaciones que se considere existen entre «ciencia» y «técnica».

A.11. Tratar de valorar críticamente, sopesando posibles ventajas e inconvenientes, el papel jugado por la ciencia en la vida de los hombres.

Comentarios de las actividades A. a A.11.

(Idénticos a los de la opción A en las mismas actividades).

4. ANALISIS DEL PROCESO DE MEDIDA

En la breve aproximación al trabajo científico realizada hasta aquí, ha quedado patente el papel del tratamiento cuantitativo en la metodología científica. Aquí nos proponemos, consecuentemente, detenernos en la clarificación del proceso de medida y la expresión del resultado.

4.1. Medida directa de una magnitud

A.12. Medir la longitud de la mesa.

A.13. El conjunto de los alumnos de la clase procederá a medir, por ejemplo, la altura de un compañero X, utilizando cintas métricas como instrumento. Cada alumno realizará su medida independientemente, sin intercambios verbales y mientras dure este proceso (que ha de procurarse sea ágil), el resto de los alumnos observarán cómo se procede a medir, anotando posibles errores, etc.

A.14. Una vez finalizadas las medidas, proceder a comentar la forma en que se han realizado, posibles errores observados, sugerencias para una medida más correcta, etc. Comentar igualmente la forma en que se ha expresado el resultado.

A.15. Sugerir algún procedimiento de visualizar el conjunto de los resultados obtenidos para proceder a un tratamiento global de los mismos.

A.16. ¿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.17. ¿Qué métodos pueden sugerirse para determinar la imprecisión de una serie de resultados de una medida como los obtenidos?

A.18. Considerar las siguientes medidas de dos longitudes A y B:

Longitud A (cm)	Longitud B (cm)
68	174
77	174
71	174

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

A.19. Exposición por el profesor de sendos criterios acerca del número de medidas necesarias y el número de cifras significativas con que debe expresarse la imprecisión y el valor representativo.

- A.20. Escribir correctamente las siguientes expresiones incorrectas (teniendo en cuenta que la imprecisión del instrumento es menor, en todos los casos, a la calculada). (Ejemplo: expresión incorrecta: (2.321 ± 0.774) U.I.; expresión correcta: (2.3 ± 0.8) U.I.)
- a) (16.347 ± 0.28) U.I. b) (8.43 ± 0.8) U.I.
c) (729 ± 0.31) U.I. d) (0.179 ± 1) U.I.

Comentarios a las actividades del apartado 4.1.

Idénticos a los del mismo apartado en la opción A.

4.2. Obtención de la imprecisión de una magnitud indirecta (opcional)

- A.21. Proceder a determinar la superficie del rectángulo proporcionado por el profesor y expresar correctamente el resultado. Concebir para ello algún procedimiento para determinar el valor representativo y la imprecisión de una magnitud como ésta que no se mide directamente.
- A.22. Aplicar los procedimientos discutidos para obtener el valor representativo y la imprecisión de un rectángulo del cual se han medido los dos lados a y b del mismo con los siguientes resultados:
- a = (40.0 ± 0.2) cm b = (12.0 ± 0.2) cm

Comentarios de A.21 y A.22.

Idénticos a los de las mismas actividades en la opción A.

4.3. Estimación de la calidad de una medida.

Una vez obtenido el resultado de una serie de medidas -expresado en forma $(D \pm D)$ unidades-, ¿cómo podría determinarse la calidad de la precisión conseguida? Esto es lo que plantea la siguiente actividad:

- A.23. ¿Es buena una medida de longitud en que la imprecisión cometida sea de 1 mm.? Discutir este ejemplo e indicar un procedimiento general para estimar la calidad de una medida.

Comentarios a la A.23.

Idénticos a los de la misma actividad en la opción A.

4.4. Práctica reiterada del cálculo de la imprecisión.

- A.24. Nos dicen que cierta temperatura es de 25°C (medida en un termómetro que aprecia medios grados). Calcular la imprecisión relativa de dicho resultado.
- A.25. Con un calibre que aprecia 0.05 mm se ha medido el diámetro de una barra, obteniéndose el resultado de 2 cm. Expresar correctamente el resultado.
- A.26. ¿Qué edad viene dada con mayor precisión: la de un bebé de 10 meses o la de un niño de 10 años?

Comentarios al apartado 4.4.

Los resultados de A.24 $(25.0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ y de A.25 (2.00 ± 0.05) mm no plantean dificultades.

La A.26 provoca discusión, puesto que la imprecisión absoluta es mayor en un caso que en otro, siendo la imprecisión relativa la misma en ambos casos.

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

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

- A.27. Enumerar cuales podrían ser las características que convenga conocer de un instrumento para su correcta utilización.

- A.28. El profesor proporcionará algún instrumento (por ejemplo calibrador o tornillo micrométrico) para su observación y posterior manejo hasta la familiarización.

Comentarios de A.27 y A.28.

Idénticos a los de las mismas actividades en la opción A.

5. CONSTRUCCION E INTERPRETACION DE GRAFICOS COMO TECNICA DE ANALISIS DE RESULTADOS.

La interpretación de los datos experimentales obtenidos en un proceso de investigación suele, a menudo, pasar por su representación gráfica. Es preciso pues, familiarizarse con las representaciones gráficas de las formas de relación más frecuentes, como son la función lineal ($y = Kx + K'$), la función inversa ($y = K/x$) o la función cuadrática ($y = Kx^2$).

- A.29. Una persona se encuentra a una distancia L de su casa y se aproxima a ella uniformemente ¿Cómo variará con el tiempo t la distancia d a la que se encuentra de la casa? Haz una gráfica cualitativa de d frente a t .
- A.30. Un jubilado que ya tiene una cantidad C de dinero en el banco y va a recibir una pensión mensual de E pesetas, desea obtener una relación que le calcule su saldo s de cuenta corriente en función del tiempo t (medido en meses) que transcurre, ¿qué tipo de función será $s = f(t)$? Representa cualitativamente el saldo s en función de t y halla esta relación.
- A.31. Un tren viaja de una ciudad a otra ¿Cómo dependerá el tiempo t que invierte en el viaje respecto a la velocidad v que lleve? Dibujar una gráfica cualitativa para esta función $t = f(v)$.
- A.32. Se desea enladrillar varias superficies cuadradas con el mismo tipo de azulejos (también cuadrados). ¿Cómo dependerá el número de azulejos necesarios (y) de la longitud (x) del cuadrado de cada pared? Hacer una gráfica cualitativa de esta dependencia.

Comentarios de A.29 a A.32.

Una de las dificultades con las que se encuentran los alumnos al abordar el problema de la concreción de la hipótesis o de la interpretación de los resultados de una experiencia, es la falta de familiarización con el concepto de función, así como de sus representaciones gráficas. Normalmente relegan estos problemas a la clase de matemáticas, pareciéndoles «extraño» que se utilicen los mismo conceptos en clase de física, así como el hecho de considerar como variables a cualquier magnitud (llámese como se llame) y no necesariamente x e y .

En las actividades 29, 30, 31 y 32 se pretende una aproximación cualitativa a la previsión de la posible dependencia entre una magnitud y otra. Estas discusiones cualitativas creemos que son de gran importancia tanto para clarificar el concepto de «función» como para poder concretar (aunque solo sea cualitativamente) la posible dependencia establecida en una hipótesis.

En A.29 los alumnos suelen plantear la relación lineal entre d y t , aunque aparece la dificultad de la coordenada en el origen (para $t = 0$ suelen decir $d = 0$). La discusión del problema de dicha coordenada en el origen (tanto en A.29 como A.30) así como el de la pendiente de la recta dibujada, resultan enriquecedores para establecer el significado de la relación lineal.

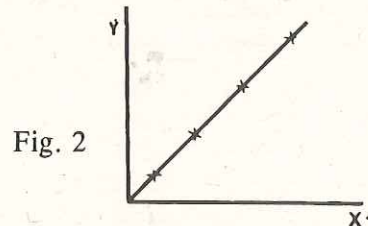
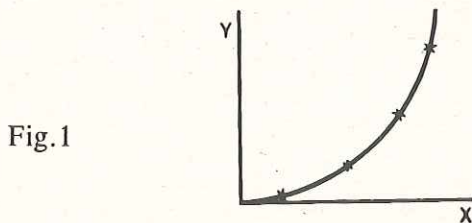
En A.31, los alumnos suelen plantear la dependencia entre t y v como lineal (como pendiente negativa). La discusión sobre los puntos en los que «tendría» que cortar dicha recta a los ejes les lleva finalmente a concluir que la dependencia no puede ser lineal, sino la correspondiente a una curva que tiende asintóticamente a cero (cuando $v = 0$ $t =$ infinito y cuando $v =$ infinito $t = 0$).

En A.32, también suelen proponer la relación lineal, pero ayudándose con dibujos de cuadrados sobre papel cuadriculado proponen la relación entre en el número de ladrillos y el lado del cuadrado como cuadrática.

Por último es conveniente recordar la ecuación de una recta ($y = Kx + K'$) y pedirles que identifiquen las variables que aparecen en A.29 y A.30 así como las constantes, hasta llegar a establecer en A.29: $d = -kt + L$, y en A.30 $s = Pt + C$, pues, todas las demás funciones las obtendremos (como veremos más adelante) utilizando la misma relación lineal después de efectuar los cambios de variable adecuados.

5.1. Reconocimiento del tipo de función que corresponde a una representación gráfica.

Para encontrar la función que relaciona dos variables a partir de la representación gráfica, el mejor procedimiento es encontrar el cambio de variables adecuado que la transforme en línea recta, con lo que su ecuación $y = Kx + k'$ queda perfectamente definida. Así, una representación gráfica como la de la figura 1 en la que y crece más rápidamente que x , hace pensar en una relación del tipo $y = Kx^2$, pero para confirmarlo es preciso obtener una línea recta al representar y frente a x^2 (fig.2)



Conviene familiarizarse con este tipo de cambios de variables.

A.33. Representar los valores de la tabla. Sugerid el cambio de variables que transforme la curva obtenida en una línea recta y verificad si ocurre así.

x/U.I.	0.6	1.0	1.4	2.0	2.5	3.0
y/U.I.	7.0	4.2	3.0	2.1	1.7	1.4

5.2. Obtención de la expresión cuantitativa correspondiente a una relación entre dos magnitudes (opcional)

Una vez obtenida la representación rectilínea, de ecuación general $y = Kx + K'$ los valores de k' (ordenada en el origen) y de k (pendiente de la recta) se pueden obtener gráficamente. Veamos un ejemplo:

A.34. Se han obtenido los siguientes pares de valores para x e y :

x/U.I.	1	2	3	4	5
y/U.I.	1	4	7	10	13

Construid la representación gráfica y -dado que, como se verá, se trata de una recta- obtened k y k' gráficamente y escribid la ecuación $y = f(x)$.

A.35. En un bombón de motocicleta se comprime el aire en su interior de manera que al aumentar la presión el volumen varía de la siguiente manera:

P/atm	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
V/c.c.	40	20	13	10	8

Hacer la representación gráfica del volumen frente a la presión y obtener la expresión matemática que los relaciona.

Comentarios de A.33 a A.35

Todo el apartado 5.1. está orientado a la obtención de la función matemática que relaciona dos magnitudes físicas cuando nos dan una tabla de valores. Como veremos a lo largo de todo el curso esta actividad es de gran importancia en la interpretación de un concepto o de los resultados de una experiencia hasta llegar al enunciado de una ley física.

Como la manipulación de tablas con datos experimentales siempre presenta la dificultad añadida de las pequeñas desviaciones de los puntos representados (debidas a las correspondientes imprecisiones) creemos conveniente, primero, utilizar los datos de las tablas de A.33, A.34 y A.35, en los que la única dificultad será la obtención de la función matemática que liga una variable con otra.

En A.33, una vez representada la gráfica « y » frente a « x » (variable independiente), el cambio de variable adecuado para la obtención de una relación lineal, será representar « y » frente a « $1/x$ », cambio que puede que no se les ocurra inmediatamente, pero en esta búsqueda pueden ser ayudados por el profesor. Para completar este ejercicio se les puede pedir que propongan el cambio de variable adecuado para obtener la relación lineal en el caso de la A.32 hasta representar « y (n de ladrillos)» frente a x (longitud

del lado al cuadrado). En el apartado 5.2. se pretende, a partir de una recta concreta llegar a la función que relaciona «y» con «x» obteniendo los valores de K y K' con el fin de llegar a expresarla matemáticamente ($y = Kx + k'$).

En A.35 los alumnos verán que es necesario previamente, obtener la relación lineal para lo cual deben representar gráficamente «P» frente a « $1/V$ », y a partir de la recta representada, obtener $P = 20/V$.

Estos ejercicios nos serán muy útiles durante el resto del curso, pues permiten a nuestros alumnos poder interpretar los resultados de un experimento y llegar a establecer, desde la ecuación de un movimiento, hasta la 2ª ley de Newton, la ley de Coulomb, la de Ohm...

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.36. Explicitar cualquier aspecto de la metodología científica que se vea reflejado en los textos adjuntos. A tal efecto procede cerrar entre paréntesis los diferentes fragmentos en que se vea alguno de dichos aspectos y adjuntarles un número indicativo. A continuación escribid en el reverso de la hoja los números indicativos señalando a qué aspecto de la actividad científica corresponde cada uno de ellos:

Texto a analizar

B. PASCAL

«... Cuando una jeringa se sumerge en agua, al elevar el pistón el agua asciende como en una bomba aspirante que no es propiamente hablando, sino una larga jeringa.

... Si se introduce una botella llena de agua y boca abajo en un recipiente lleno de agua, el agua de la botella permanece sin caer. Se admite que esta suspensión es debida al horror que la naturaleza tiene al vacío, que se produciría en el lugar que el agua deja al caer, puesto que el aire no podría sustituirla. Y ello se confirma puesto que si se practica una hendidura por donde el aire pueda penetrar, todo el agua cae incontenible»

Sin embargo, en 1638 Galileo había hecho notar que las bombas aspirantes de extracción de agua no podían elevarla más allá de una cierta altura. Y en 1644 Torricelli, uno de los discípulos de Galileo, concibió la idea de llenar un tubo de mercurio -unas trece veces más denso que el agua- y sumergirlo boca abajo en una cubeta llena también de mercurio: el líquido del tubo descendía hasta una altura de unos 76 cm (una treceava parte de la alcanzada por el agua).

La interpretación de estos hechos, de acuerdo con las ideas de la época según las cuales el vacío era inconcebible, consistía en admitir la existencia de alguna materia sutil -cuya naturaleza había que descubrir que llenaría la parte superior del tubo de mercurio.

Pero, para Pascal y otros físicos como Descartes, había que romper con la idea del horror al vacío y buscar otra razón de todos estos efectos. Esta razón había que buscarla en el hecho de que, con palabras de Pascal: «...el peso de la masa de aire, actuando sobre todos los cuerpos produce los efectos que se habían atribuido al horror al vacío».

Pascal desarrolla a partir de aquí una explicación detallada de los distintos fenómenos enumerados a la luz de las nuevas ideas. Pero había que establecer de manera clara que era la presión atmosférica la que sostenía la columna de mercurio en el tubo de Torricelli. Para ello concibió que sería decisivo repetir la experiencia al pie de una montaña y en su cima, donde la presión del aire, por estar más cerca del límite superior de la atmósfera, debería ser menor, lo que se traduciría en un mayor descenso de la columna.

El resultado del experimento, realizado por un cuñado de Pascal, fue muy claro: la columna de mercurio era ciertamente más corta en la cima de la montaña. Ello permitió escribir a Pascal: «...¿Acaso la naturaleza aborrece más al vacío sobre los montes que en los valles, cuando hay humedad que cuando hace buen tiempo? ¿No lo odia igualmente en un campanario que en un granero o en un corral? Que todos los discípulos de Aristóteles reúnan lo más potente de los escritos de su maestro y sus comentadores, para explicar estas cosas por el horror al vacío, si es que pueden. Si no, que reconozcan que las experiencias son los maestros de la Física...»

- A.37. Realizar una pequeña investigación tendente a establecer la expresión que determina el período de un objeto pendular.
- 1.- Precisar el problema (indicando el tipo de péndulo...)
 - 2.- Emitir hipótesis acerca de los factores que determinan el período del péndulo y la forma en la que influyen.
 - 3.- Diseñar lo más detalladamente posible experimentos para contrastar las hipótesis emitidas. Considerar en particular la forma de proceder a la medida del período.
 - 4.- Proceder a realizar los experimentos.
 - 5.- Analizar los resultados obtenidos.

Comentarios de A.37.

Como los de la A.34 en la opción A.

LA FISICA DEL SENTIDO COMUN

Sobre muchos de los temas que vamos a abordar a lo largo del curso, los alumnos poseen ya conocimientos previos con los que es preciso conectar. Con este propósito proponemos a continuación una serie de actividades que pueden contribuir a exponer algunas de las ideas que en este sentido se poseen en el área de la mecánica.

- A.1. Explicar qué se necesita para que un cuerpo permanezca en movimiento.
- A.2. Indicar cuáles de los siguientes movimientos pueden considerarse «naturales» y cuáles «forzados» o «violentos»:
- Caída libre de una piedra en el aire.
 - Movimiento ascendente de las rocas arrojadas por un volcán.
 - Descenso de un globo (del que se tira hacia abajo mediante un cable)
 - Ascensión del humo
 - Giro de la Luna alrededor de la Tierra.
- A.3. Se dejan caer dos cuerpos simultáneamente. ¿Qué puede decirse de los tiempos respectivos de llegada al suelo?
- A.4. Señalar las diferencias y semejanzas existentes entre los movimientos de los objetos terrestres (situados en la superficie de la tierra o en sus proximidades) y el de los cuerpos celestes como la luna.

Muchas de las ideas expuestas al contestar las actividades anteriores responden a una visión de sentido común, es decir a los que la mayoría de las personas pueden pensar a partir de las experiencias ordinarias que se repiten todos los días. Esta visión ha estado vigente también a lo largo de la historia durante más de 20 siglos, formando parte de lo que se conoce con el nombre de «paradigma aristotélico-escolástico».

- A.5. Breve exposición por el profesor del paradigma aristotélico-escolástico, que constituye la expresión más acabada de la «física del sentido común»

Comentarios a la Física del sentido común

Gran parte de la investigación sobre la didáctica de las Ciencias de estos últimos años ha estado centrada en el estudio de la «preconcepciones científicas» y los «esquemas conceptuales alternativos» de los alumnos (ver, p.e., Carrascosa, 1985). Esta investigación ha mostrado la necesidad de tomar dichos preconceptos como punto de partida del aprendizaje y orientar éste como cambio conceptual.

Es importante por ello, comenzar el curso «sacando a la luz» la visión que sobre el comportamiento de la materia poseen los alumnos. Las actividades elegidas permiten, sin un consumo excesivo de tiempo, que aparezcan algunos aspectos claves de la física del sentido común contra la que se edifica -es preciso no olvidarlo- toda la Física clásica.

Surge así la idea de la tendencia al reposo de los objetos en «su lugar natural» (y consiguiente necesidad de fuerzas para que permanezcan en movimiento); la idea de que los sólidos tienden a caer mientras que los gases ascienden; de que cuanto más materia tenga un sólido más aprisa caerá, e incluso a pesar de la influencia de los medios de comunicación, la idea de una separación entre el comportamiento de los objetos celeste (movimientos continuos, sin fin y no forzados, donde no se aplican las mismas leyes que en la tierra...) y los terrestres (tendencia al reposo, movimientos forzados, ...). La A.4 puede utilizarse para -siguiendo, por ejemplo, el texto de Holton y Roller (1972) o el de la evolución de la idea de materia (Gil, 1981)-, mostrar la coherencia de esta visión y valorarla positivamente. De este modo, cuando los

alumnos se enfrenten en los capítulos siguientes con problemas que no pueden explicarse a la luz del paradigma que ahora se ha hecho explícito, podrán experimentar la necesidad de un cambio de ideas y más aún, comprender que el desarrollo científico ha supuesto, en ocasiones, enfrentamiento de concepciones, verdaderas batallas de ideas (¡y no sólo de ideas!) y, en definitiva, un dramatismo que no debe ser ocultado y que puede contribuir a proporcionar al estudio de estos temas un interés que las presentaciones puramente operativas habituales impiden.

CINEMATICA.

INDICE

Introducción

1. Estudio de las magnitudes para la descripción de un movimiento
 - 1.1. Carácter relativo del movimiento.
 - 1.2. Posición de un cuerpo en el espacio. Vector de posición.
 - 1.3. Variación de la posición. Vector desplazamiento y trayectoria.
 - 1.4. Velocidad media e instantánea de un móvil.
 - 1.5. Los cambios de velocidad. Aceleración.
2. Caracterización de los movimientos: ecuación de movimiento.
 - 2.1. Movimientos rectilíneos.
 - 2.1.1. Movimientos uniformemente acelerados.
 - 2.1.2. Movimientos uniformes.
 - 2.2 Resumen del estudio general de los movimientos.
3. Investigación de un movimiento real: la caída de los cuerpos.
4. Resolución de problemas como investigaciones.
5. Actividades complementarias.

INTRODUCCION

La cinemática se limita a estudiar las formas más simples de transformación: las asociadas al desplazamiento de los cuerpos sin alteración de su estructura. La Cinemática responde así a la necesidad que tiene el hombre de saber cómo son los movimientos de los cuerpos, la trayectoria descrita en su movimiento, la velocidad en un determinado momento, etc. Esta parte de la Mecánica tiene como objetivo esencial la descripción cuantitativa de los movimientos y no se preocupa de las causas que provocan los cambios de movimiento, temática que será objeto de la Dinámica.

En el estudio que realizaremos se considerarán a los móviles como cuerpos puntuales, lo que nos permite simplificar el planteamiento del problema.

A.1. Expresa lo que entiendes por movimiento.

Comentarios A.1.

Tiene por finalidad la exploración de las ideas que tiene el alumno respecto al movimiento. En general, las contestaciones mezclarán el aspecto descriptivo de nuestro estudio con la causalidad del movimiento y es posible la aparición de la identificación entre fuerza y movimiento (increpo se mueve porque alguien lo empuja o porque tiene fuerza). Interesa delimitar el campo de estudio en que nos vamos a mover dejando para más adelante el aspecto causal de los movimientos. Por otra parte, aparecerá el reposo como algo absoluto entendido como negación del movimiento. En esta iniciación conviene explicitar opiniones precientíficas del alumnado para tenerla en cuenta conforme vaya avanzando el tema y contrastarlas con las que se extraerán de un estudio más profundo.

1. ESTUDIO DE LAS MAGNITUDES PARA LA DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO.

1.1 Carácter relativo del movimiento.

Establecer si un cuerpo se encuentra o no en movimiento es una cuestión previa al estudio del mismo y lo suficientemente importante, como veremos para clarificarla.

A.2. Indica la manera de establecer si un cuerpo está en movimiento o en reposo, por ejemplo la pizarra de la clase.

A.3. Una persona A situada en el andén de una estación despide a dos amigos B y C que se encuentran en sendas ventanillas de un vagón del tren (fig 1). Se inicia la marcha del tren y nos cuestionamos: si el pasajero B está en movimiento, ¿cuál crees que serán las respuestas que darán sus amigos?.

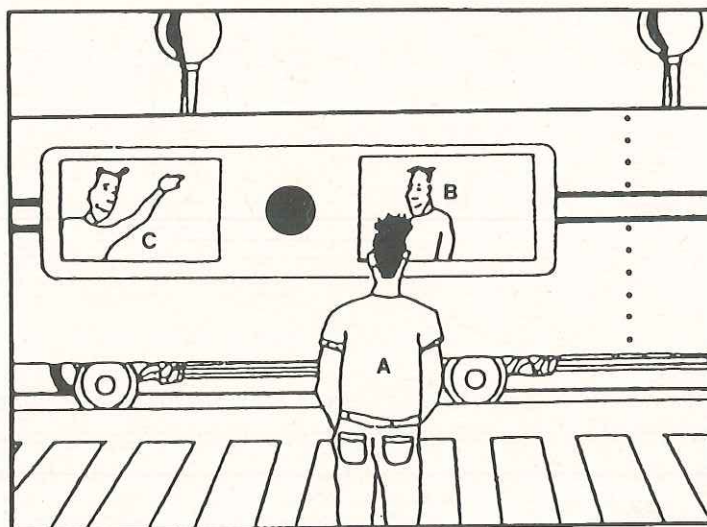


Fig. 1

Comentarios A.2 y A.3.

En la A.2 las respuestas de los alumnos aportarán las dos soluciones posibles: que la pizarra se mueve (respuesta mayoritaria) debido al movimiento de la Tierra y que la pizarra está quieta por las observaciones cotidianas. Las referencias explícitas a la necesidad de un sistema de referencia pueden aparecer en esta actividad. No obstante se propone un nuevo ejemplo más conflictivo como el de la A.3. En efecto, la presencia de dos observadores A y C obliga a replantearse la pregunta de forma más correcta que la expresada en la cuestión: ¿para quién está en reposo o movimiento?. Surge así nuevamente la necesidad de explicitar el sistema de referencia para una respuesta coherente.

Se ha visto el carácter relativo de los movimientos y la necesidad de introducir un sistema de referencia explícito para empezar a estudiar los movimientos, ahora bien la descripción del movimiento de un tren, de una bola de billar o de un planeta requieren el establecimiento de magnitudes útiles para poder saber distinguir y predecir cuáles serán las trayectorias de estos movimientos, en que posición estarán en un instante determinado, cuánto tiempo tardará en alcanzar la meta o a qué distancia estará el Sol de la Tierra el 29 de febrero del año 2020, etc.

En resumen, los valores de estas magnitudes y la relación entre ellas nos ayudarán a caracterizar el movimiento de cualquier cuerpo y a poder describir completamente su historia pasada, presente y futura. Las magnitudes que vamos a ir introduciendo son ya conocidas como la composición del cuerpo, la rapidez con que cambia de posición (velocidad) y la rapidez con que varía la velocidad, conocida como aceleración.

1.2. Posición de un cuerpo en el espacio. Vector posición.

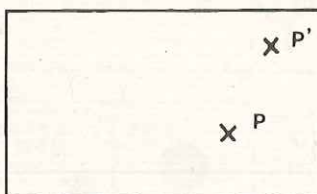
A.4. Indica cómo se podría determinar la posición de los siguientes móviles:

- La de un tren en un punto de su trayectoria.
- La de un árbitro en un campo de fútbol.
- La de un avión próximo a la torre de control del aeropuerto.

Comentarios A.4.

En el caso a) bastará con dar la distancia a un sistema de referencia que puede ser un punto de la trayectoria como la estación más próxima al tren, no obstante convendrá destacar que esa posición deberá ir acompañada del signo correspondiente (p.e. para diferenciar entre -20 y $+20$ km), no importando la forma de la trayectoria que se supone conocida. En el segundo caso se iniciará a los alumnos a la definición más clara de vector de posición y que en caso concreto puede aparecer de dos maneras (la cartesiana y la polar). Planteada esta misma actividad con un barco se observó que la solución aportada por los alumnos se inclinó por la latitud y la longitud geográfica al recordar sus estudios pasados. En el caso del avión es evidente la necesidad de introducir una nueva coordenada que exprese la altura del móvil respecto del suelo. En la discusión de esta actividad se utilizarán los vectores de posición con sus listas de uno, dos o tres números y habrá que explicitar lo que se entiende como módulo de un vector.

A.5. Los puntos P y P' de la figura 2 representan dos monedas situadas encima de una mesa. Dar sus posiciones.

**Comentarios A.5.**

Planteada de forma abierta esta actividad genera cierta confusión en el alumnado que debe prefiar un sistema de referencia y también, idear las correspondientes unidades para cada uno de los ejes. Surgen algunas cuestiones interesantes como p.e. ¿tienen que ser iguales las unidades x e y ?, ¿qué punto consideramos el $(0,0)$?, etc.

1.3 Variación de la posición. Vector desplazamiento y trayectoria.

Establecida la posición de un cuerpo mediante la introducción de una magnitud que denominamos vector de posición, veamos cómo podemos establecer una nueva que nos permita definir lo que ha cambiado la posición del móvil al transcurrir un intervalo de tiempo y que se entiende como vector desplazamiento.

A.6. Define, de forma operativa, una magnitud que sirva para medir el desplazamiento de un cuerpo que ha pasado desde una posición inicial representada en la figura 3 por el vector de posición \vec{r}_1 hasta la posición marcada por el vector \vec{r}_2 .

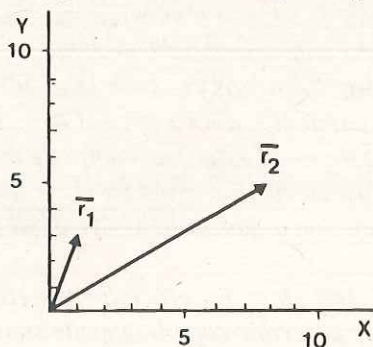


Fig. 3

A.7. Un cuerpo se encuentra en posición $(3, 8)$ m y un tiempo después en $(-5, 2)$ m. a) Dibuja los vectores de posición; b) representa el desplazamiento experimentado y c) calcula éste analíticamente.

A.8. Un cuerpo se encuentra en la posición $(4, 3)$ m y se desplaza $(2, -5)$ m. ¿Cuál es su nueva posición?

Comentarios A.6, A.7 y A.8.

En la A.6 se trata de introducir el vector desplazamiento como diferencia de los vectores de posición final e inicial $\Delta r = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$.

La solución gráfica es dada fácilmente por los alumnos de estas edades; ahora bien, la deducción matemática de la diferencia de los vectores supone cierta abstracción que es difícil de alcanzar por aquellos y que conviene debatir sobre todo haciendo ver que $\vec{r}_1 + \Delta\vec{r} = \vec{r}_2$ al trasladar el r al eje de coordenadas. No obstante, conviene reforzar el debate con la A.7 que supone una aplicación de lo indicado y se comprobaría además, si realmente saben operar analíticamente con la diferencia de vectores.

Se introduce la A.8 para utilizar la suma de vectores antes aludida. Finalmente conviene insistir en lo que suponen las operaciones vectoriales anteriores sobre todo de un modo gráfico (regla del paralelogramo), pues nos volverá a aparecer a lo largo del curso al estudiar la suma de las fuerzas y la aceleración.

El estudio del desplazamiento de los móviles se puede simplificar considerando que la trayectoria se realiza a lo largo de una línea conocida o bien, en el caso particular de un movimiento rectilíneo donde solamente interesará el cambio de posición (e) sobre la trayectoria que vendrá dado por un solo número.

- A.9. Determinar la diferencia de posiciones del móvil de la figura 4 y discutir cuánto vale el espacio recorrido por aquél.

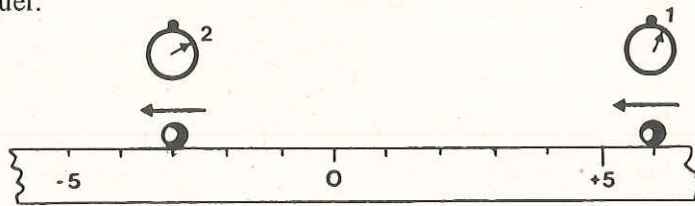


Fig. 4

- A.10. Desde el suelo se lanza verticalmente hacia arriba una piedra, encontrándose en $e_1 = 15\text{m}$ cuando $t_1 = 1\text{s}$ y en $e_2 = 18\text{m}$ cuando $t_2 = 2,5\text{s}$. Si la máxima altura se alcanza a los 20m cuando el reloj marca 2s , determina: a) La diferencia de posiciones entre los instantes t_2 y t_1 ; b) el espacio recorrido en ese intervalo de tiempo.

- A.11. Explicitar lo que se entiende por trayectoria de un cuerpo al desplazarse de 1 a 2 (fig.5). Indica cómo determinaríais el vector desplazamiento entre aquellos dos puntos y el espacio recorrido sobre la trayectoria.

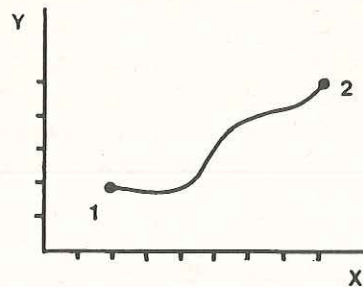


Fig. 5

Comentarios A.9, A.10 y A.11.

En general, los alumnos manejan como espacio el módulo del desplazamiento -escalar sin signo- por ello es importante en A.9 diferenciar entre $|e|$ y e y realmente e (diferencia de posiciones). En la A.10 se aclarará al hacer intervenir un movimiento con retroceso donde la observación les llevará a discernir entre la diferencia de posiciones e y el espacio recorrido que resultará superior. Esta diferencia es también evidente en otro movimiento en el plano y con la trayectoria que sea curvilínea (A.11).

- A.12. Citar aquellos casos en los que se puede considerar que el módulo del vector desplazamiento puede coincidir con el valor del espacio recorrido.

Comentarios A.12.

Es evidente que en aquellos casos en que la trayectoria sea rectilínea sin retroceso o en aquellos otros en que se considere que los desplazamientos son tan pequeños que pueden confundirse con pequeños tramos cortos de la trayectoria, coincidirán el valor del espacio recorrido con el módulo del vector desplazamiento.

Veamos a continuación un ejemplo concreto que nos permitirá recordar las magnitudes introducidas hasta el momento.

- A.13. En el siguiente gráfico se da la trayectoria (fig.6) de un móvil, marcándose con relojes los instantes que corresponden a las posiciones A y B contestar las siguientes cuestiones:
- Dibujar los vectores de posición y el vector desplazamiento.
 - Hallar el vector desplazamiento y su módulo.
 - La diferencia de posiciones sobre la trayectoria si se toma el punto (0, 3) m como sistema de referencia.
 - El espacio recorrido.

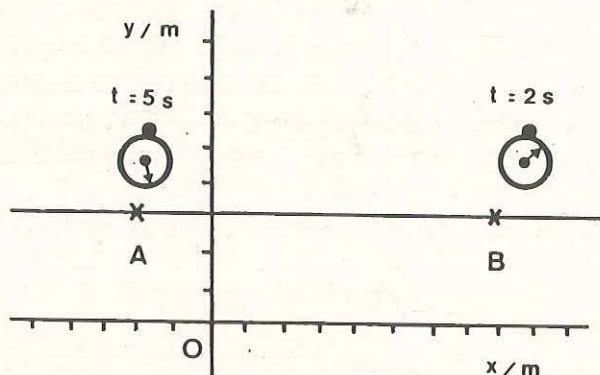


Fig. 6

1.4. Velocidad media e instantánea de un móvil.

Hasta ahora en el estudio de los movimientos de los cuerpos se han introducido las magnitudes posición y desplazamiento, pero éstas no nos indican por sí mismas si los cambios de lugar del objeto han sido rápidos o lentos. Será, pues, necesario introducir una magnitud que mida la rapidez del desplazamiento a la que llamamos velocidad.

- A.14. Indicar que se entiende por velocidad. Define su unidad en el S.I.

Comentarios A.14.

El alumnado tiene muy asumido la definición de velocidad como espacio partido por tiempo ($v = e/t$). Habrá, pues, necesidad de debatir el significado de las palabras espacio y tiempo dadas en su lenguaje y adaptarlas al introducirlo en este capítulo. Dentro de esta cuestión se definirá el vector velocidad como la rapidez con que se realiza el desplazamiento ($\bar{v} = \Delta\bar{r}/\Delta t$) y una vez definida vectorialmente se puede incidir en sus atributos principales (dirección y sentido).

A continuación es necesario introducir la velocidad escalar $v = \Delta e / \Delta t$, magnitud que utilizaremos continuamente en el estudio de los movimientos sobre una trayectoria definida.

- A.15. El espacio recorrido por un coche entre Barcelona y Valencia medido en un cuentakilómetros es 359 km, mientras que la distancia medida en un mapa resulta ser de 300 km. Sabiendo que el coche tarda 5 horas en hacer este recorrido y que el avión tarda media hora, calcular la velocidad media de ambos movimientos.

Comentarios A.15.

Como puede comprobarse en esta actividad se distingue entre velocidad y rapidez. La primera es la relación entre el cambio de posición y el tiempo empleado en el desplazamiento. Es una magnitud vectorial.

La rapidez es la relación entre el espacio recorrido en una trayectoria y el tiempo usado en dicho desplazamiento. Es una magnitud escalar totalmente diferente a la velocidad. A pesar de ello tendemos con frecuencia a confundir ambas magnitudes.

Tampoco coinciden, salvo casos muy particulares (trayectoria rectilínea y sin retroceso o movimientos instantáneos), la rapidez i el módulo del vector velocidad. En efecto al ser el vector desplazamiento un vector (recto), su módulo nunca puede ser mayor que el espacio recorrido en la trayectoria.

El conocimiento de la velocidad media en el desplazamiento de un móvil es una información parcial que no nos indica lo que le está sucediendo al cuerpo en cada uno de los puntos de la trayectoria; así pues,

en el estudio científico de un movimiento interesará la introducción de una velocidad que mida la rapidez del móvil en intervalos pequeñísimos. Un ejemplo concreto es la necesidad de averiguar la velocidad que llevaba un automóvil en el momento de suceder un accidente, es decir, su velocidad instantánea al iniciarse el suceso.

A.16. Suponer que se desean saber las velocidades de un corredor a lo largo de una trayectoria conocida. Explicar cómo se podría proceder para resolver el problema.

Comentarios A.16.

Se trata de señalar la necesidad de operar midiendo mediante jalones y cronómetros las posiciones del corredor y los instantes de tiempo que corresponden a cada una de las posiciones, de esta manera podrían obtenerse velocidades en cada intervalo de tiempo considerado y comprobar que los resultados obtenidos no necesariamente deben coincidir con la velocidad media en todo el intervalo ni tampoco con la media de las velocidades en ese instante de tiempo.

A.17. Se ha medido la posición de un motociclista sobre una pista como la de la fig. 7 a medida que transcurre el tiempo obteniéndose la siguiente tabla de valores:

t/s	0	1	2	3	4
e/m	5	6	9	14	21

- Calcular su velocidad media en los tres primeros segundos y entre el segundo 2 y 3.
- Determinar qué velocidad lleva en el instante $t = 2$ s (ayudarlos de una representación gráfica de $e = f(t)$).

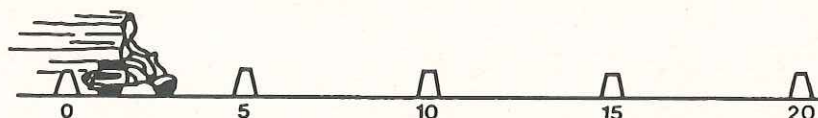


Fig. 7

Comentarios A.17.

Partiendo del concepto de velocidad media se pretende que el alumnado se plantee la definición de la velocidad instantánea como el valor e/t cuando t es muy pequeño, por lo que gráficamente coincidirá con el valor de la pendiente de la tangente a la curva $e = f(t)$ en el instante considerado. Es decir, que la velocidad instantánea es el límite de la velocidad media cuando t tiende a cero y ello se puede extrapolar fácilmente de la interpretación gráfica del apartado a) de esta misma actividad.

A.18. Haced un estudio similar del movimiento de dos alumnos a lo largo de una trayectoria determinada, de manera que uno ande de forma regular mientras que el otro efectúa el recorrido corriendo uniformemente. Representad las funciones $e = f(t)$ para cada uno de los participantes y determinad velocidades medias e instantáneas.

Comentarios A.18.

Es fácil llegar a la conclusión que si la marcha de los dos alumnos es uniforme la representación gráfica de las funciones serán rectas y, en consecuencia, las velocidades medias e instantáneas coincidirán. Ahora bien, si se representan los dos movimientos sobre el mismo diagrama de coordenadas se observará que la mayor pendiente es aquella que tiene mayor velocidad, reforzándose la asimilación de la velocidad instantánea como la pendiente a la función $e = f(t)$.

A.19. En las actividades anteriores hemos calculado las velocidades instantáneas sobre la trayectoria pero queda por ver si la velocidad tiene dirección y sentido. ¿Cómo saber la dirección y sentido de la velocidad de un móvil?

A.20. Una bola describe las trayectorias descritas en la fig. 8, dibujar los vectores \vec{v} , sabiendo que $|\vec{v}_c| = |2\vec{v}_b|$ y que $|\vec{v}_a| = |\vec{v}_b|$.

Comentarios A.19 y A.20.

Consiste en aplicar de forma general y simbólica todo lo tratado sobre el vector velocidad incluyendo el módulo y, sobre todo, la dirección y sentido que podrán deducir a partir de la trayectoria del móvil definida como el conjunto de los puntos del movimiento real y la representación gráfica de la función $e = f(t)$, donde obtenemos el valor de la velocidad instantánea a través de la tangente a la gráfica en t . Precisamente la semejanza entre la obtención de este valor en $e = f(t)$ y la determinación de la dirección y sentido del vector velocidad (tangente, también, aunque a la trayectoria en el punto) conduce a frecuentes errores como se ha constatado incluso en alumnos que han finalizado los estudios medios.

1.5. Los cambios de velocidad. Aceleración.

Se ha visto la necesidad de introducir algunas magnitudes para poder describir los movimientos, tales como la posición, el desplazamiento y la rapidez con que variaba la posición (velocidad), pero también es sabido que la velocidad cambia fácilmente en cualquier trayectoria, es por ello, que será necesario una nueva magnitud que mida la rapidez con que se efectúan estos cambios a la que llamamos aceleración.

A.21. En los dibujos de la fig.9 se ha representado la velocidad de un móvil en diferentes instantes de su movimiento sobre la trayectoria. ¿En qué casos varía el vector velocidad con el tiempo?.

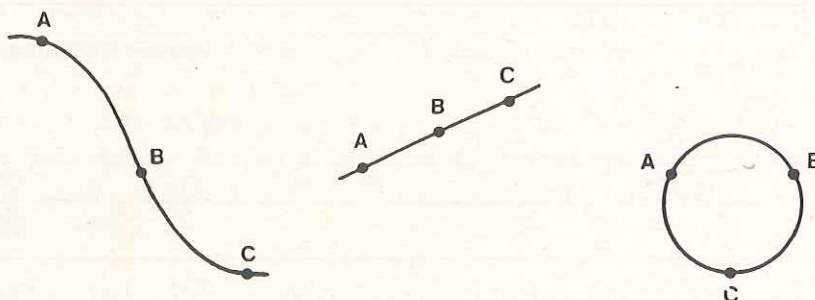


Fig. 8

Comentarios A.21.

Será necesario debatir más aquellos casos en que cambia sólo la dirección del movimiento y, en consecuencia, cambia la velocidad dado que ello es difícil de asimilar por los alumnos (caso B). Habrá que concluir en el análisis que el cambio del vector velocidad puede suceder bien variando sólo el módulo (caso A), sólo la dirección (caso B) o ambos atributos a la vez (caso D).

A.22. Define la aceleración como magnitud que mide la rapidez con que varía la velocidad. ¿Cuál será su unidad en el S.I.?

A.23. ¿Qué significado tiene decir que un coche mantiene una aceleración de $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$?

Comentarios A.22 y A.23.

La introducción del vector \vec{a}_m en un Δt como el cociente $\vec{a}_m = \Delta \vec{v}/t$, aunque parece simple a nivel operativo, es bastante difícil de asimilar su significado físico y convendrá insistir en ejemplos concretos. Al mismo tiempo, es necesario introducir la aceleración escalar como $\Delta v/\Delta t$, concepto que está más próximo al alumno y que realmente, vamos a utilizar en el resto del capítulo.

A.24. Análogamente a como definimos la velocidad instantánea podemos hacerlo con el concepto de aceleración. ¿Cuál será el significado de aceleración instantánea? ¿Cómo se puede determinar?.

A.25. ¿Indica la dirección y sentido del vector aceleración en los diferentes casos representados en A.21?.

Comentarios A.24 y A.25.

Solamente se pretende a nivel cualitativo la introducción de la aceleración instantánea sin necesidad de entrar en su determinación cuantitativa que se deja para cursos superiores. Ahora bien, se ha

considerado conveniente reiterar cómo se determinaban los valores de las velocidades instantáneas para hacer ver que el procedimiento utilizado sería similar en el caso de pretender calcular las aceleraciones. Se insiste, también, a nivel cualitativo en el carácter vectorial de esta magnitud en la A.25. En este último proceso se tendrá que aclarar la diferencia entre la dirección y sentido del movimiento -velocidad- y los de la aceleración sobre todo en aquellos casos en que el móvil frene o gire. Para algunos alumnos parece incomprensible que el sentido de la velocidad sea contrario a la de la aceleración en los frenados.

A.26. Explica si habrá aceleración en los siguientes movimientos reales: a) El frenado de un coche; b) el giro de la Luna alrededor de la Tierra; c) el movimiento de subida de un ascensor. Dibujad esquemas de los ejemplos anteriores donde figuren el vector velocidad y, si es el caso, el vector aceleración.

Comentarios A.26.

Esta actividad de aplicación del concepto de aceleración puede ser aprovechado para introducir de forma cualitativa la aceleración central (centrípeta) y la aceleración tangencial cuando únicamente varíen la dirección o el módulo respectivamente. Este asunto será de sumo interés, posteriormente, en la dinámica de los movimientos celestes para vencer la barrera con la de los terrestres.

Veamos algún ejemplo práctico de la medida de algunas de las magnitudes introducidas que se encuentran, como veremos, estrechamente relacionadas con nuestra vida cotidiana.. En efecto, velocidad y aceleración son palabras de uso ordinario cuyo significado físico vamos a aplicarlo a una prueba de educación física.

Problema.

Se desea formar en el Centro un equipo de atletismo para competir en diversas pruebas de velocidad (100 m), de medio fondo (800 m) y de fondo (5000 m) que se llevarán a cabo en un campeonato escolar.

A.1 Idear algún diseño que nos permita seleccionar a cada uno de los alumnos para la prueba más idónea.

A.2 Lleva acabo el diseño realizado sobre las características de cada alumno respecto a las distintas carreras.

Comentarios al problema.

En el diseño lógicamente deberá constar la necesidad de medir las posiciones de varios alumnos respecto al tiempo, así como deben correr al máximo de sus posibilidades (¡ojo! es necesario un tiempo previo de calentamiento prudencial donde se pueda preparar correctamente a los alumnos con el fin de evitar "tirones musculares" que pueden aparecer al forzar la carrera sin hacerlo). Tabulamos los resultados para varios alumnos en particular, en una prueba de 200 m y realizada la representación gráfica se podrá seleccionar: a) los que presentan una mayor velocidad inicial significa que pueden ser buenos competidores en distancias cortas, "velocistas"; b) los que mantienen una velocidad alta y constante hasta el final del recorrido pueden ser seleccionados para pruebas de medio-fondo.

2. CARACTERIZACION DE LOS MOVIMIENTOS: ECUACION DE MOVIMIENTO.

Introducidas las magnitudes necesarias para describir los movimientos (posición, velocidad y aceleración) nuestro problema principal va a consistir en conocer cómo varían a lo largo de la trayectoria o mejor aún, a través del tiempo. Así pues, caracterizar un movimiento consistirá en definitiva en conocer cuál es su posición en cada instante de manera que sabida la variable tiempo (t) podamos predecir la posición (e), la velocidad (v) y la aceleración (a) del móvil. En otras palabras la obtención de cuál es la dependencia de la posición respecto al tiempo supone obtener la ecuación de movimiento ($e = f(t)$) y análogamente las funciones $v = f(t)$ y $a = f(t)$, quedando así descrito todo el movimiento que se pretende estudiar.

2.1 Movimientos rectilíneos.

Nuestro estudio lo limitaremos al caso de movimientos que o bien son rectilíneos o bien su trayectoria es conocida y no nos preocupan los cambios de dirección del movimiento. Ello simplifica nuestro trabajo ya que el vector de posición definido anteriormente tendrá sólo una componente cuyo valor haremos coincidir con la posición e sobre la trayectoria, según un sistema de referencia previamente determinado.

2.1.1 Movimientos rectilíneos uniformemente acelerados.

En primer lugar trataremos de estudiar cómo es la aceleración a través del tiempo en uno de estos movimientos, para pasar a continuación a deducir cómo variará la velocidad y, finalmente, llegaremos a la ecuación de las posiciones en función del tiempo.

A.27. ¿Cómo será la representación gráfica de la aceleración frente al tiempo en un movimiento que se supone uniformemente acelerado?.

Comentarios A.27.

Con esta actividad se solicita atención sobre la constancia de la aceleración a través del tiempo y la traducción de esta información en una gráfica de aceleración frente al tiempo. Esta será la suposición inicial necesaria para llegar a obtener la velocidad en función del tiempo, cuestión que abordaremos a continuación.

A.28. Un móvil tiene una velocidad v_0 en el instante inicial considerado t_0 . En un instante posterior t su velocidad es v . Suponiendo que su aceleración a es constante, obtener la relación $v = f(t)$; es decir, la ecuación de las velocidades en cada instante, y comentar cualitativamente cómo sería la representación gráfica de esta función.

A.29. Un móvil posee una velocidad inicial de 10 m/s y una aceleración de $-2\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Calcular los valores de las velocidades para los instantes $t = 0, 2, 4, 6$ y 8 s e interpretar los resultados encontrados.

A.30. Buscad tres ejemplos reales que se aproximen a los siguientes casos:

- Aceleración positiva y $v_0 > 0$.
- Aceleración positiva y $v_0 = 0$.
- Aceleración positiva y $v_0 < 0$.
- Aceleración negativa y $v_0 > 0$.

¿Cómo serían cualitativamente las representaciones gráficas de la función $v = f(t)$ en cada uno de estos casos?.

A.31. Representa gráficamente la $v = f(t)$ de la A.29. ¿Cuánto valdría la velocidad media entre los instantes $t = 2$ s y $t = 4$ s?.

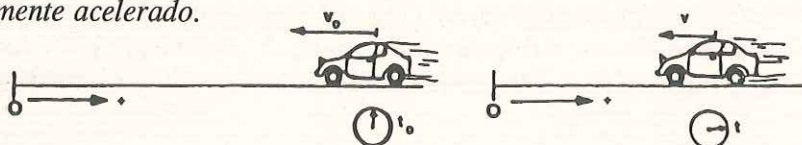
Comentarios A.28, A.29, A.30 y A.31.

En la A.28 se trata de obtener en forma general la ecuación $v = v_0 + a(t - t_0)$, donde se deberá distinguir entre la función (v), la variable independiente (t) y las constantes conocidas (v_0 , t_0 y a) para analizar cualitativamente cómo deberá ser la representación gráfica de $v = f(t)$ que resultará lineal.

En A.29 se concreta en un caso particular, donde son conocidas las constantes y hay que hacer arbitrariamente $t_0 = 0$ para calcular los valores de la velocidad, no obstante sorprende a los alumnos que en un mismo movimiento la velocidad pase de ser positiva a negativa. Precisamente en la A.30 se matizan más estas cuestiones de los signos en los que tiene gran relevancia el sistema de referencia elegido, al considerar tres casos teóricos que pueden matizarse en:

a) El adelantamiento de un vehículo en una carretera (siempre que se avance alejándose del cero del sistema de referencia espacial); b) la caída libre de una bola (si el espacio se cuenta desde la posición inicial y en sentido positivo hacia el suelo) y c) el frenado de un móvil que va hacia el origen del sistema de referencia. La discusión de este último caso es bastante interesante y conviene detenerse en ella; pues en el frenado casi todos los alumnos comentan que la aceleración es negativa debido a que hay una disminución de la velocidad, sin tener en cuenta la importancia de estos efectos del sistema de referencia espacial elegido previamente.

En la A.31 se cuantifica el ejemplo concreto de la A.29 y al mismo tiempo se hace hincapié en que las medidas de las velocidades coincide con la velocidad que corresponde al instante intermedio, debido precisamente a la variación lineal de la velocidad con el tiempo, es decir, a que se trata de un movimiento uniformemente acelerado.



Veamos cómo podemos conseguir el cálculo de la posición de un móvil en un movimiento uniformemente acelerado a través del tiempo, si es conocida su característica fundamental, la aceleración (qué permanecerá constante como ya se ha indicado).

A.32. Idea algún procedimiento para calcular la posición e de un motorista en un instante si se conoce su posición e instantes iniciales (e_0 , t_0), su velocidad al principio (v_0) y su aceleración (a) que ha permanecido constante.

Comentarios A.32.

Es muy posible que los alumnos resuelvan el problema indicando que se podría calcular el espacio recorrido, más concretamente, e cómo diferencia de posiciones, multiplicando la velocidad media en un tiempo transcurrido. Normalmente la deducción de la ecuación del movimiento uniformemente acelerado en la forma $e - e_0 = v_0 t + 1/2a(t)^2$ es bastante difícil de obtener y correrá a cargo del profesor.

A.33. La ecuación obtenida en la A.32 puede simplificarse en muchos casos, como p.e. cuando el reloj se pone a "cero" en el instante inicial ($t_0 = 0$). Otros ejemplos son cuando el móvil está inicialmente parado o cuando la posición inicial del móvil coincide con el origen de las posiciones. Obtened las ecuaciones simplificadas en cada caso, así como las ecuaciones cuando todas estas circunstancias se dan conjuntamente.

Comentarios A.33.

Obtenida la ecuación general en la A.32, conviene pasar a casos particulares que serán los que utilizarán posteriormente.

A.34. La velocidad de un móvil varía de modo regular desde 3 m/s hasta 7 m/s en un intervalo de 4s. Calcular el espacio recorrido por el móvil en ese tiempo.

A.35. Una bola que se desliza por el suelo tiene una velocidad inicial de 5 m y frena con una aceleración de 2 m/s. Obtener las ecuaciones de la velocidad y de la posición, así como sus representaciones gráficas a través del tiempo.

A.36. Un móvil cuya rapidez es de 20 m/s adquiere una aceleración frenando hasta que se para. Si el espacio recorrido desde que se inicia el frenado es de 40 m. Calcula el tiempo que ha tardado en pararse y su aceleración.

2.1.2 Movimientos rectilíneos uniformes.

A.37. Proponed una definición de movimiento rectilíneo uniforme.

A.38. ¿Cómo se transforman las ecuaciones de la aceleración, velocidad y posición en función del tiempo encontradas en el movimiento uniformemente acelerado, para el caso del movimiento uniforme?.

Comentarios A.37 y A.38.

El estudio del movimiento uniforme se ha planteado, en este tema, como un caso particular del movimiento uniformemente acelerado, con valor nulo en la aceleración y ésta será la definición operativa del movimiento. En la A.39 se solicita la transformación de las ecuaciones partiendo de $a = 0$.

2.2 Resumen sobre el estudio general de los movimientos.

Finalmente haremos un resumen sobre la caracterización de los movimientos estudiados con el fin de globalizarlos y saber distinguirlos para aplicar nuestros conocimientos en cualquier investigación que realicemos.

A.39. Procede a completar el cuadro adjunto, siguiendo las indicaciones del profesor.

	v	a	v_m	a_m	$e = f(t)$	$v = f(t)$	Rep. gráfica
M.U.A.							
M.U.							

Comentarios A.39.

Véase los comentarios de A.25 del Programa-guía anterior (Opción A).
Pasaremos ahora a realizar una pequeña investigación que concrete el estudio realizado en un ejemplo natural observado frecuentemente: la caída de los cuerpos.

3. INVESTIGACION DE UN MOVIMIENTO REAL: LA CAIDA DE LOS CUERPOS.

El cuerpo teórico de los conocimientos anteriormente tratados debe mostrar su valor descriptivo en el estudio de movimientos reales y uno de ellos, extraordinariamente interesante desde el punto de vista teórico e histórico, es el de la caída de los graves.

Planteamiento del problema y emisión de hipótesis:

- A.40. ¿Qué puede decirse de las observaciones y experiencias cotidianas sobre el movimiento de caída de los cuerpos?
- A.41. Para contrastar las hipótesis emitidas es necesario eliminar el rozamiento del aire de los objetos que caen o bien conseguir que sea despreciable. Sugérid posibles formas de hacerlo.
- A.42. Mostrad, de forma sencilla, como los cuerpos diferentes (cuartilla, moneda, piedra, etc, ...) dejados caer desde la misma altura caen al mismo tiempo, si se consigue eliminar el rozamiento. Es decir, caen con la misma aceleración aunque su masa sea distinta.
- A.43. Sugérid de qué forma podríamos comprobar que el movimiento de caída de los cuerpos es un M.U.A.
- A.44. Deducid a partir de las hipótesis según la cual la caída de los cuerpos es un M.U.A. -cuyas ecuaciones ya han sido estudiadas- alguna consecuencia que se pueda contrastar experimentalmente.

Diseño experimental y realización de experimentos:

- A.45. Proponed algún experimento sencillo que se pueda realizar en el laboratorio y que permita comprobar cuál es la relación existente entre la posición e del móvil y el instante del tiempo t .
- A.46. Realizad el experimento planificado

Análisis de los resultados encontrados:

- A.47. Proceder al tratamiento e interpretación de los datos obtenidos en el experimento realizado.
- A.48. Elaborar un informe, lo más completo posible, del trabajo realizado, donde se puede distinguir cada una de las fases de esta investigación (desde el planteamiento del problema, hipótesis emitida y su fundamentación, etc... hasta la interpretación de los resultados).

Comentarios a todo el punto 3.

Véase los comentarios contenidos en el apartado 4 del Programa-guía anterior (Opción A).

4. RESOLUCION DE PROBLEMAS COMO INVESTIGACIONES.

En general, la forma habitual de enfrentar la resolución de los problemas se traduce en la aplicación rutinaria del cuerpo teórico establecido sin reflexión ni aproximación cualitativa al problema concebido como tal, es decir, un enigma del que se desconoce su solución. Veamos un ejemplo:

- A.49. Un objeto se desplaza a lo largo de la trayectoria según la ecuación $e = 25 + 40t - 5t^2$, donde e viene medido en m cuando t se expresa en segundos. Calcula la distancia recorrida a los 5 s.

Comentarios A.49.

En esta actividad el 100% de la clase fallará la solución del problema debido a confusiones ya conocidas, tales como que la posición es igual al espacio recorrido o que el desplazamiento es la distancia recorrida, etc... Esta es una actividad de choque o de conflicto cognoscitivo que servirá de reflexión sobre nuestra manera de resolver los problemas y se puede aprovechar para introducir la necesidad de aproximarse cualitativamente al problema que, en este caso, implica un análisis del tipo de movimiento a partir de su ecuación (podría corresponder a un tiro vertical hacia arriba con una posición inicial distinta a cero). A este análisis también se puede llegar si se les solicita que calculen la distancia a los 6 s con el correspondiente análisis de los resultados encontrados. (Un análisis más extenso de la resolución de este problema puede leerse en el apéndice dedicado a ello). Dado que es la primera vez que se plantea este tipo de problemas será necesaria una mayor orientación metodológica del profesor y convendrá dividir la resolución de cada problema en varias fases, como p.e. plantear el problema, emitir hipótesis, etc.. A continuación se proponen algunos problemas planteados como investigaciones.

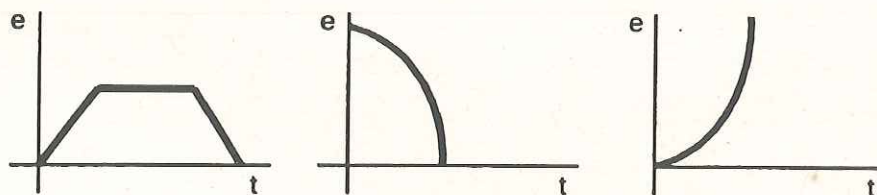
Así, pues, con el fin de evitar caer en resoluciones rutinarias y procurar acercar más los enunciados a problemas de la vida ordinaria planteamos, a continuación, unos problemas en los que su resolución supone una mayor creatividad.

- A.50. Una persona se encuentra en el tercer piso de un edificio cuando de repente oye un disparo y al cabo de muy poco tiempo ve, a través de la ventana, caer el cuerpo de un sujeto que supone que ha recibido el disparo. ¿En qué piso está el asesino?
- A.51. Se lanza una piedra verticalmente hacia arriba, ¿cuánto tiempo tardará en regresar al suelo y cuál será la máxima altura que alcanzará?
- A.52. Un coche de policías persigue a un delincuente que va en una motocicleta, ¿cuánto tiempo tardará en alcanzarle?
- A.53. El conductor de un automóvil va por una autopista cuando se percibe de la existencia de un obstáculo infranqueable a una distancia determinada. ¿Chocará o no contra el obstáculo?

5. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS.

- A.54. Elabora un resumen del trabajo realizado en este capítulo de cinemática.
- A.55. Traduce en un diagrama $v = f(t)$ de forma cualitativa los siguientes movimientos reales:
- Un coche inicialmente parado acelera regularmente durante un corto período de tiempo, mantiene su velocidad durante largo tiempo y finalmente decelera hasta pararse en su lugar de destino.
 - Desde un helicóptero se deja caer un paracaidista.
- A.56. Interpreta las gráficas $e = f(t)$ de la fig.10.

Fig.10



DINAMICA

INDICE

Introducción.

1. Las fuerzas como causa de la variación del movimiento. (Primer principio de la dinámica).
2. Definición cuantitativa de fuerza (segundo principio de la dinámica).
3. La cantidad de movimiento: una nueva magnitud de la dinámica.
4. Las fuerzas como caso particular de las interacciones (tercer principio de la dinámica).
5. Principio de conservación de la cantidad de movimiento.
6. Breve introducción a la dinámica del movimiento circular uniforme.
7. Un ejemplo de interacción: la gravitación.
8. Problemas y actividades complementarias.

INTRODUCCION

Como ya indicamos, en Cinemática se estudia el movimiento sin ocuparnos de la causa que podía producir su variación. Es, en esta parte de la Física llamada Dinámica donde van a estudiarse estos aspectos.

1. LAS FUERZAS COMO CAUSA DE LA VARIACION DEL MOVIMIENTO (PRIMER PRINCIPIO DE LA DINAMICA).

A.1. Critica la frase siguiente.»Para que un cuerpo permanezca en movimiento ha de estar actuando una fuerza sobre el mismo».

Comentarios A.1.

El concepto dinámico de fuerza es uno de los más complicados desde el punto de vista conceptual. La idea de que la fuerza es la causa del movimiento está fuertemente arraigada en los alumnos, tal es así que la frase cuestionada en la actividad, provoca en todos ellos manifestaciones de aceptación incluso señalando ejemplos de la vida cotidiana que aparentemente vienen a corroborarla. Debemos esperar a darles la solución correcta, desde el punto de vista dinámico, a un desarrollo posterior del tema. Así pues, en esta primera actividad se pretende extraer la identificación muy extendida que se da entre movimiento y fuerza en el sentido de que mientras un cuerpo se mueve es porque está actuando sobre él una fuerza (exterior o interior) en el sentido del movimiento. En efecto, los resultados encontrados en la investigación didáctica (Viennot, 1979; Carrascosa, 1987) nos han hecho ver la extraordinaria persistencia de estas ideas, vigentes en épocas anteriores a Galileo, y que hoy se dan incluso en estudiantes universitarios de física.

A.2. Especificar si es necesaria la actuación de una fuerza para que:

- a) un cuerpo en reposo, se mueva.
- b) un cuerpo permanezca con movimiento rectilíneo uniforme.
- c) un cuerpo en movimiento se pare.
- d) un cuerpo en movimiento cambie su dirección.
- e) una nave espacial se aleje del sistema solar a velocidad constante.

Comentarios A.2.

En esta actividad se proponen varios ejemplos ligados a casos suficientemente conocidos. En algunos sub-apartados la contestación esperada por parte de los alumnos, coincidirá con la respuesta correcta, independientemente de la situación en la que piensen, tales son los casos a, d e incluso el e; mientras que en el resto, las respuestas dadas a través de sus propias vivencias personales les conducen, con mucha probabilidad, a contestaciones que nos indican de forma clara que los alumnos piensan que para que un cuerpo permanezca con movimiento rectilíneo uniforme es necesario mantener una fuerza constante, o que para frenar basta con que la fuerza que actuaba deje de hacerlo; la razón es que en sus experiencias el rozamiento está siempre presente. No interesa, en estos momentos, definir todavía el concepto newtoniano cualitativo de fuerza hasta esperar a las próximas actividades en las que es deseable que sea el propio alumno el que llegue a la definición correcta.

A.3. Simular con dos alumnos la polémica de los diferentes puntos de vista relativos al concepto cualitativo de fuerza que aparecen en los «Diálogos» de Galileo. (Véase Anexo I).

Comentarios A.3.

Esta actividad tiene características distintas al resto y en ella se pide que dos alumnos escenifiquen las ideas defendidas por Galileo y las de la escolástica. Lógicamente debe intentarse la participación, no sólo de los dos alumnos que realizan la interpretación sino de todos, a través del coloquio posterior que debe abrirse. Es un buen momento para hacer mención a la Historia pues el caso de Galileo puede utilizarse para reflexionar sobre algunas actitudes que se dan ante la evolución de las ideas.

A.3 bis. Lanzamos una misma pelota con la misma velocidad inicial por: a) la playa, b) una carretera y c) una pista de patinaje. Razonad en que caso la pelota tardará más en pararse.

Comentarios A.3 bis.

Esta actividad es alternativa la anterior (por ese motivo hemos titulado la actividad como A.3 bis) ligada, a ejemplos conocidos y donde la idea cualitativa de fuerza debe ya quedar suficientemente clara. Es aconsejable realizar un croquis en el que aparezca de forma clara las fuerzas de rozamiento presentes en cada caso a la vez que se dibuje el vector velocidad para ayudar a entender el efecto de las fuerzas sobre el movimiento. Es, en este instante, en el que debe volverse a las actividades anteriores y con la nueva idea de fuerza replantearse las respuestas dadas y entender la aparente veracidad de las respuestas emitidas, a pesar de no ser correctas dinámicamente.

A.4. La definición aristotélica de fuerza puede resumirse diciendo: «La fuerza es la causa del movimiento». Proponed una definición más adecuada.

Comentarios A.4.

Si los alumnos ya han asimilado el concepto newtoniano podrán dar la nueva definición de fuerza como «la causa de la variación del movimiento». La experiencia nos ha permitido comprobar la dificultad que asumir este concepto lleva y lo importante que es para la comprensión del tema; por ello, no debe importar reiterar en el mismo proponiendo más actividades en el caso de que se considere necesario.

A.5. Interpretar el hecho de que un carro avance con movimiento uniforme rectilíneo al tirar de él un caballo con una fuerza constante.

Comentarios A.5.

Con esta actividad los alumnos podrán comprobar cómo partiendo del cambio conceptual experimentado puede, de una forma coherente, dar justificación a un hecho común observado.

2. DEFINICION CUANTITATIVA DE FUERZA (SEGUNDO PRINCIPIO DE LA DINAMICA).

En el apartado anterior se ha llegado a una definición cualitativa de fuerza, no obstante ya sabemos que esto no es suficiente para completar su estudio pues necesitamos definir la fuerza de forma cuantitativa y así manejarla operativamente, sin ambigüedades.

A.6. Partiendo del concepto cualitativo de fuerza introducido, proponed una expresión que relacione la fuerza aplicada a un cuerpo y la variación del movimiento producido.

Comentarios A.6.

Partiendo de la definición conceptual de fuerza deberá relacionarse ésta con la magnitud ligada a la variación de la velocidad, es decir la aceleración y tratar de llegar a una relación matemática, siendo la más sencilla $F = k.a$.

A.7. Señala cuál será el significado físico de la constante de proporcionalidad que aparece en la expresión $F = k.a$.

Comentarios A.7.

El significado físico de la constante de la relación entre la fuerza aplicada a un cuerpo y la aceleración producida habrá que buscarlo en el concepto cuantitativo de inercia al cambio de movimiento. Así, en A.2 se ha deducido la existencia de una inercia de los cuerpos a perseverar en un movimiento de velocidad constante si no habían fuerzas que actuaban sobre aquellos y es ahora cuando se cuantifica esta inercia como la fuerza que se requiere aplicar a un cuerpo para conseguir una aceleración unidad y que Newton llega e identificar con la masa inerte del móvil. De manera que el cambio de movimiento producido por una misma fuerza dependerá de la masa inerte del móvil, según la conocida expresión: $F = m.a$ y ello nos servirá para cuantificar las fuerzas según los efectos dinámicos producidos en cuerpos de masa conocida.

A.8. La unidad de fuerza en el S.I. recibe el nombre de Newton. Da su definición.

A.9. Proponer algún diseño experimental que sirva para comprobar la relación $F = m.a$.

Comentarios A.9.

El diseño propuesto deberá ser tal que permita modificar el valor de la fuerza resultante y medir en cada caso la aceleración correspondiente. Un procedimiento, que suele ocurrírsele a alguno de los grupos de alumnos es aquel que consiste en colocar una masa sobre una superficie horizontal (llega a admitirse una especie de «carrito» porque ello supone disminuir el rozamiento) y «tirar» de ella mediante una cuerda unida a un dinamómetro; para medir la aceleración puede proponerse hacerlo de una manera indirecta mediante medidas de espacio y tiempo. La dificultad del diseño propuesto estriba, lógicamente, en mantener constante la fuerza de arrastre. Para tratar de superar esta dificultad puede proponerse un dispositivo de «polea» (fig-1) ya que en este caso la fuerza que «tira» se deberá al peso de las masas situadas en el platillo de la polea. Un detalle que es necesario comentar es que para proceder posteriormente a un análisis correcto de los resultados es necesario mantener la masa total del dispositivo constante lo que puede lograrse haciendo pasar pequeñas pesas del carrito al soporte que cuelga de la polea. Un segundo montaje alternativo puede consistir en utilizar una polea como la de la figura-2 (Máquina de Atwood), este dispositivo presenta el inconveniente de la medida del tiempo pues suelen producirse aceleraciones excesivamente elevadas y, dada, la poca distancia en que se va a permitir desplazarse provoca que éstos sean excesivamente cortos con la consiguiente dificultad en la medición de tiempos. No debe olvidarse que también en este caso una condición imprescindible es el mantener la masa total constante que podrá realizarse pasando pequeñas pesas de uno a otra parte del platillo.

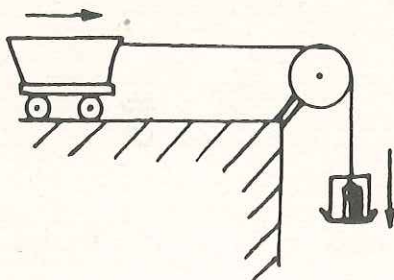


Fig. 1

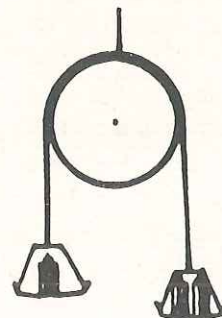


Fig.2

A.10. Proceder al análisis de los resultados obtenidos al contrastar la experiencia discutida en la actividad anterior e indicar la validez de la hipótesis.

Comentarios A.10.

Los procedimientos diseñados pueden dar resultados aceptables y se obtendrán representaciones rectilíneas al obtener las gráficas $F = f(a)$. Para ello hace falta disminuir el rozamiento al máximo y puede observarse que como consecuencia del mismo se obtiene una recta que no pasa por el origen ya que la fuerza resultante es algo menor que la exterior aplicada.

A.11. Calcular la fuerza necesaria para comunicar una aceleración de $3,5 \text{ ms}^{-2}$ a un cuerpo de $5,1 \text{ Kg}$.

A.12. Dibuja las fuerzas aplicadas y calcula las aceleraciones que se producirán en cada uno de los siguientes casos:

- Una persona de 53 Kg que se encuentra en una pista de patinaje y sobre el que tiran dos fuerzas mediante dos cuerdas perpendiculares y horizontales cuyos valores numéricos son 26 y 13 N respectivamente.
- Sobre un cuerpo de 50 Kg tira una fuerza de 4 N y existe un rozamiento de 2 N .
- Sobre un cuerpo de 2 Kg tiran dos fuerzas, en la misma dirección y sentido, de valores 20 y 10 N respectivamente. La fuerza de rozamiento vale 25 N .

Comentarios A.12.

Los ejemplos que se han propuesto corresponden a casos prácticos y tienen como objetivo que los alumnos utilicen la expresión $F = m \cdot a$, reforzando el carácter vectorial de la fuerza por lo que habrá que insistir en la forma de llevar a cabo estas operaciones con cantidades vectoriales. Es conveniente insistir en el significado que tienen los signos en las magnitudes vectoriales. Para la resolución de la actividad hay que pedir a los alumnos que realicen un croquis del problema donde figuren representadas las fuerzas que actúen sobre el sistema, cuestión ésta que será conveniente que se reitere en todos los casos.

A.13. Un vehículo de 200 Kg parte del reposo y adquiere una velocidad de 30 m/s al cabo de 5 s . Calcular la aceleración media del movimiento así como la fuerza que ha actuado.

A.14. Sobre un cuerpo de 15 Kg de masa, inicialmente en reposo, actúa una fuerza de 300 N durante 4 s . Calcular la distancia recorrida en dicho intervalo.

A.15. Un cuerpo de 250 Kg parte del reposo y adquiere la velocidad de 6 m/s en 3 s . La velocidad la mantiene durante 10 s frenando hasta pararse en 1 s . Dibuja gráficas donde se expresen la velocidad, la aceleración y la fuerza experimentadas en función del tiempo.

3. LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO. UNA NUEVA MAGNITUD DE LA DINAMICA

Hasta ahora se ha introducido el concepto de fuerza como causa de la aceleración de los móviles y se ha comprobado que la misma fuerza aplicada a varios móviles producía diferentes aceleraciones dependiendo de sus masas respectivas. Ahora bien, en Dinámica conviene definir una magnitud denominada «cantidad de movimiento» de tal manera que una misma fuerza aplicada durante el mismo tiempo a móviles con distintas masas les produzca el mismo efecto dinámico, es decir, la misma variación de dicha cantidad. Así pues, dedicaremos este apartado a introducir esta magnitud y a una nueva definición de fuerza más general que la anterior ($F = m \cdot a$).

A.16. Un camión y una moto están en movimiento. ¿Cuál consideras que tiene una mayor «cantidad de movimiento»? Dar una respuesta razonada donde se indique claramente los criterios que has manejado para dar la respuesta.

Comentarios A.16.

Los alumnos suelen responder que es el camión el que posee mayor cantidad de movimiento ya que supone mayor cantidad de masa y, a pesar de no indicarlo en la pregunta, suelen estar pensando en que

ambos circulan a la misma velocidad; se debe complicar la situación indicándoles que en el enunciado no se dice nada acerca de la velocidad que llevan ambos y, en consecuencia, es interesante volverles a hacer la pregunta en situaciones extremas como puede ser el caso de que el camión se encontrase parado. La discusión abierta debe conducir a que la nueva magnitud que vamos a llamar «cantidad de movimiento» debe depender de la masa y de la velocidad.

A.17. Define operativamente la nueva magnitud y razona cuál deberá ser su unidad en el S.I.

Comentarios A.17.

Partiendo de la actividad anterior, que ha servido para aproximarnos cualitativamente al concepto de cantidad de movimiento puede proponerse la expresión $m \cdot v$ como forma de definirla operativamente.

A.18. Proponed una nueva definición de fuerza ligada a la variación de la cantidad de movimiento producida por un móvil.

Comentarios A.18.

Con la actividad se pretenden que deduzcan que la fuerza puede, también, definirse como la rapidez de cambio de la cantidad de movimiento del cuerpo al que se le aplica ($\vec{F} = \Delta(m \cdot \vec{v}) / \Delta t$). Esta definición de la fuerza es más general que la introducida inicialmente como producto de la masa por la aceleración.

A.19. Determinad la fuerza necesaria para que un vehículo de 450 Kg que se encuentra en reposo adquiera la velocidad de 60 Km/h en 0, 1 min.

4. LAS FUERZAS COMO CASO PARTICULAR DE LAS INTERACCIONES (TERCER PRINCIPIO DE LA DINAMICA)

Hasta ahora sólo nos hemos ocupado de explicar lo que le sucede a un móvil al serle aplicada una fuerza «por un agente externo». Vamos, ahora, a ampliar nuestra visión y considerar lo que le ocurre también al agente externo al interactuar. Es decir, supondremos como sistema físico no sólo el cuerpo al que se le aplica la fuerza sino también al «autor» de la misma.

A.20. Consideremos los casos siguientes: a) dos imanes que se encuentran próximos, b) dos bolas de billar cuando chocan y c) un cañón que dispara un proyectil. Indicad las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo en el momento de la interacción y la posible relación existente entre ellas. (Ayudar la explicación con un dibujo).

Comentarios A.20.

A través de esta actividad puede deducirse que cuando sobre un cuerpo aparece una fuerza siempre debe existir otro sobre el que aparece otra. De ahí el adjetivo de «interacción» entre ellos. Las fuerzas, pues, aparecen por pares siendo siempre afectados los dos cuerpos involucrados. Se debe insistir en que las fuerzas actúan siempre sobre cuerpos diferentes y que son de la misma dirección y sentido contrario. La dificultad mayor consiste en que los alumnos acepten que son de igual magnitud, dificultad que trataremos de resolver en los ejercicios siguientes.

A.21. Critica la frase siguiente: «Si la Tierra atrae a una piedra situada a una cierta altura, podemos, igualmente, afirmar que la piedra atraerá a la Tierra».

Comentarios A.21.

Es una actividad de contraste pues en la anterior siempre se observó que las fuerzas se producen «a pares», en ésta sólo se observa una fuerza (la que realiza la Tierra sobre la piedra) pero la generalización de la A.20 debe conducir a señalar que también la piedra atraerá a la Tierra, cuestión que aparentemente para los alumnos puede carecer de sentido y que puede justificarse por la enorme desproporción entre las masas.

A.22. Un astronauta de masa m flota al lado de su cápsula de masa M : a) Si desea alejarse de ella, ¿que debe hacer?.

b) Pensando que, lógicamente, el astronauta deseará regresar a la cápsula, ¿debería haber tomado alguna precaución en el momento de alejarse de ella?

Comentarios A.22.

El objetivo de la actividad consiste en que los alumnos comprendan que cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, recibe de éste otra fuerza igual de la misma dirección y sentido contrario; así, el astronauta cuando quiera alejarse de la nave deberá empujar a ésta en sentido contrario al que desee marchar. En el apartado b surge la necesidad de «algo» con la que volver a interactuar cuando desee regresar, esto puede lograrse utilizando un motor, pero también serviría una cuerda que le mantuviese unido a la cápsula. Cuando decidiese regresar deberá «tirar» de ella, pero siempre en sentido contrario al que desee llegar.

A.23. Indica de que forma se podría determinar la fuerza que actuará sobre el astronauta y sobre la cápsula de la actividad anterior.

Comentarios A.23.

Partiendo de la base de que se conocen las masas del astronauta y de la cápsula deberemos averiguar la aceleración, mientras dura el empujón, de cada uno para determinar la fuerza. Un aspecto interesante es comparar cualitativamente las respectivas aceleraciones que se prevén que puedan resultar; pues, habrá que esperar que los alumnos puedan pensar que la de la cápsula será mucho menor y de esta forma conducir a la idea de que la fuerza es la misma y establecer así el tercer principio.

El ejercicio puede también resolverse aplicando la expresión $F = p/t$ donde t corresponde al intervalo en el que dura el empujón, la velocidad adquirida podría determinarse midiendo el tiempo que tarda el astronauta en recorrer una distancia (en este caso la longitud de la cuerda). Las dos formas son interesante pues, en el primer caso nos acerca, como ya hemos dicho, al tercer principio y, en el segundo, se ofrece la oportunidad de utilizar una aplicación práctica de una expresión que pocas veces utilizan.

A.24. Dos bolas chocan. Analizad, a la luz del tercer principio, las fuerzas que aparecen en el momento del choque.

Comentarios A.24.

La actividad se plantea de forma abierta para estudiar todos los casos que pueden producirse. Especialmente interesantes son los que corresponden a masas o velocidades muy distintas, pues el sentido común aplica mayor fuerza (a igual velocidad) al de mayor masa, suele decirse que «pega más fuerte»; igualmente si una está parada y la otra le golpea suele indicarse que la que estaba en movimiento es la única que «ha pegado» y en consecuencia la que ha ejercido la fuerza. Un análisis pormenorizado debe conducir a un correcto tratamiento del tercer principio coherente con los resultados experimentales observados.

A.25. Una bola de 1 Kg que se encuentra en movimiento choca contra otra de 10 Kg que se encuentra en reposo. Tras el choque, la segunda adquiere una velocidad de 1 m/s. Si el impacto ha durado 0,01 s, determinad las fuerzas que actúan en el momento del impacto. Si la velocidad de la primera antes del impacto era de 8m/s, ¿cuál sería después?

A.26. Un libro se encuentra apoyado en una mesa. Dibujad todas las fuerzas que actúan sobre él. (Completad el dibujo con las fuerzas de reacción correspondientes).

Comentarios A.26.

*El objetivo de esta actividad es ayudar a subsanar un error muy extendido, cual es la diferenciación entre los puntos de aplicación de la acción y la reacción sobre objetos distintos. En este caso sobre el libro aparecen dos tipos de fuerzas distintas, la gravitatoria y la fuerza que realiza la mesa sobre él y que, en este caso son iguales y de sentido contrario lo que da una resultante nula. Debe insistirse en que estas dos fuerzas **no son pares acción-reacción** cada una de las mencionadas tendrá su correspondiente par, en el centro de la tierra (la gravitatoria) y en el centro de gravedad de la mesa (la otra).*

A.27. Comenta la frase siguiente: «Como todas las fuerzas son pares acción-reacción, iguales y de sentido contrario los cuerpos no pueden sufrir aceleraciones».

Comentarios A.27.

Con esta actividad se pretende que se recapacite sobre una posible consecuencia que podría tener una aplicación incorrecta del tercer principio.

5. PRINCIPIO DE LA CONSERVACION DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO.

El principio de acción y reacción nos ha servido para comprobar, entre otras cosas, que las fuerzas son aspectos parciales de las interacciones, a través de las cuales se modifican las cantidades de movimiento de las partes del sistema que interaccionan. Ahora nos falta analizar la posible relación existente entre estas variaciones de las cantidades de movimiento de los cuerpos que interaccionan y lo que sucede con el valor de esta magnitud en el conjunto del sistema. Ello nos permitirá deducir un principio fundamental con el que se puede predecir lo que sucederá en los choques de móviles, en las explosiones de proyectiles, en el lanzamiento de cohetes, etc. En definitiva, habremos conseguido obtener lo que antiguamente se denominaban las leyes del movimiento.

- A.28. Comentad lo que sucede con la cantidad de movimiento total de un sistema aislado p.e. dos bolas que chocan (A.24) antes y después de la interacción. Analizad la relación existente entre las variaciones de las cantidades de movimiento de las dos bolas.
- A.29. Supongamos que el astronauta de la A.22 posee una masa de 80 Kg y la cápsula de 1.400 Kg. Si el astronauta sale despedido con una velocidad de 3m/s, ¿con qué velocidad retrocederá la cápsula después del empujón?
- A.30. Un cañón de 500 Kg tiene en su interior un proyectil de 1, 5 Kg. El cañón dispara horizontalmente con una velocidad de 100 m/s. Calcular la velocidad de retroceso que adquirirá el cañón si éste se encontrase en un terreno horizontal y sin, prácticamente, rozamiento.
- A.31. Una bola de 100 g que lleva una velocidad de 20 m/s choca contra una caja de madera que posee ruedas y cuya masa total es de 2 Kg incrustándose en ella. ¿Qué velocidad adquirirá el conjunto después de la interacción?

Comentarios al apartado 5.

En A.28 se ha elegido el caso más sencillo y conocido para concretar el principio de conservación de la cantidad de movimiento como es el choque de dos bolas que se mueven a lo largo de una sola dirección con el fin de simplificar al máximo el sistema y, así, resolver fácilmente el problema a través del análisis de lo que sucede con las cantidades de movimiento. En efecto, primero se trata de deducir que la pérdida de la cantidad de movimiento que sufre una bola debe ser igual al aumento de la cantidad de movimiento de la segunda bola, lo que puede deducirse matemáticamente al aplicar el tercer principio (en concreto, de la igualdad $F_2, 1 = -F_1, 2$) y del concepto de fuerza definido como la rapidez con que cambia la cantidad de movimiento de cada bola ($F_2, 1 = p_1/t$). Al mismo tiempo este análisis de la transformación implica en el fondo una conservación de la cantidad de movimiento de todo el sistema (como suma de las cantidades de movimiento de las partes del mismo), lo que es coherente con la teoría ya que al estar el sistema aislado la fuerza exterior aplicada es nula.

6. BREVE INTRODUCCION A LA DINAMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME.

Los ejemplos de movimientos que se han estudiado han sido, por lo general, movimientos rectilíneos donde la aplicación de fuerzas sobre los móviles se traducían en cambios de movimientos o aceleraciones (positivas o negativas) en la dirección del movimiento. Ahora bien, existe en la naturaleza, otros tipos de movimientos que son circulares como los movimientos celestes que convendrá estudiarlos desde el punto de vista dinámico para convencernos que, en realidad, las leyes que los gobiernan son los mismos que se han expresado en la Dinámica newtoniana.

- A.32. En Cinemática se ha estudiado que cuando un móvil describe un movimiento circular uniforme está acelerando. Considerad el movimiento de una piedra que gira atada a una cuerda («honda») y explicadlo realizando un análisis de las fuerzas aplicadas a este sistema.

Comentarios A.32.

Con esta actividad se pretende que el alumno analice la dinámica de un movimiento circular uniforme. Aunque el sistema es complejo (piedra, cuerda y mano) se puede hacer ver que la piedra está acelerada (cambio de dirección) gracias a la fuerza central aplicada por la mano y que según el principio de acción y reacción, la piedra debe hacer una fuerza sobre la mano, a través de la cuerda para concluir, de manera general, que si el movimiento resultante es circular uniforme ello implica la existencia de una fuerza central resultante denominada centrípeta (dirigida hacia el centro de la trayectoria) de acuerdo con los principios de la Mecánica que estamos estudiando. En este curso sólo nos limitaremos al análisis dinámico cualitativo del movimiento circular.

A.33. ¿Por qué se mantiene la Luna girando alrededor de la Tierra indefinidamente?

Comentarios A.33.

Se trata de aplicar las ideas newtonianas expresadas en la actividad anterior al caso de un movimiento circular uniforme celeste como es el del giro de la Luna alrededor de la Tierra. Es interesante clarificar, en la clase, que la fuerza gravitatoria que la Tierra ejerce sobre la Luna en movimiento es la central o centrípeta y es la única que existe en el sistema considerado y es la que le obliga a desviarse constantemente de su dirección y, por tanto, girar a su alrededor. De esta sencilla forma puede explicarse el problema sin necesidad de acudir a la utilización de pseudo-fuerzas (en este caso la llamada centrífuga) que sólo al utilizar sistemas de referencia acelerados habría necesidad de considerarlos. Creemos que, en este nivel, debe tratarse siempre con sistemas inerciales y, en consecuencia, no hay que utilizar las fuerzas centrífugas si bien es aconsejable aclararles este concepto ya que aparece en muchos libros de texto y, en algunos, se observa la existencia de graves errores conceptuales.

7. UN EJEMPLO DE INTERACCION: LA GRAVITACION.

Los principios de la dinámica que hemos estudiado y sus consecuencias son válidas para cualquier tipo de fuerza. Hasta ahora nos hemos referido a interacciones que se producían al ponerse en contacto los cuerpos interaccionantes lo que no siempre es necesario para que exista fuerza, pues hay otros tipos que actúan «a distancia», tales como las interacciones gravitatorias y electromagnéticas, entre otras. En este apartado se tratará la interacción gravitatoria como aplicación concreta de las leyes de la Dinámica que supuso, históricamente, unir la Mecánica terrestre con la celeste.

A.34. Dibujar, mediante un esquema, el movimiento de los planetas en el Sistema Solar y justificarlos dinámicamente.

Comentarios A.34.

Los alumnos conocen que los Planetas giran alrededor del Sol con órbitas definidas. Se trata, pues, de que recapaciten que esto supone admitir la existencia de alguna fuerza resultante que debe actuar sobre cada uno de los Planetas provocando, de esta forma, la existencia de una aceleración «normal»; es decir, un cambio continuo en la dirección del movimiento. Puede también comentarse en la necesidad de que esta resultante sea constante para que de esta forma las órbitas de los planetas sea siempre la misma lo que permite justificar el orden existente.

A.35. Analiza dinámicamente el movimiento de una piedra dejada caer desde una cierta altura y razona si presenta alguna relación con el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra.

Comentarios A.35.

Ahora puede hacerse un análisis completo de la caída de un cuerpo desde una altura y podemos comenzar basándonos en la existencia de fuerzas de atracción entre todos los cuerpos del Universo, y, en consecuencia, también entre la piedra y la Tierra, lo que viene a demostrar la existencia de una relación clara entre este movimiento y el que tiene lugar entre los planetas y el Sol o entre la Luna y la Tierra. Es interesante establecer la relación entre estos dos fenómenos para ver que corresponden al mismo tipo de interacción gravitatoria; pues, históricamente fue esencial el establecimiento de estas relaciones para derribar la separación existente entre la mecánica terrestre y la celeste. Aparecerá así como causa principal la interacción gravitatoria debida a la presencia de las masas de los cuerpos que interactúan.

A.36. Dar una respuesta argumentada a las dos preguntas siguientes:

- a) ¿Pesa la Luna?
- b) Un astronauta flotando sobre una nave situada a 200 Km de la superficie terrestre, ¿pesa?

Comentarios A.36.

En la actividad se pretende clarificar el concepto de «pesar» ya que está muy extendido en el lenguaje corriente asimilar la palabra «flotar» con «no pesar».

A.37. Señala, a modo de hipótesis, de qué factores dependerán las fuerzas que se producen en la interacción gravitatoria entre dos cuerpos.

Comentarios A.37.

Aunque no es difícil señalar la dependencia de F respecto de las masas y de la distancia, sí lo es la deducción matemática de la ley de la Gravitación Universal debido, entre otras cosas, a que el alumno debe manejar el esquema de control de variables. Este es el primer caso del curso en que surge este problema y puede ser resuelto buscando ejemplos análogos más sencillos. Más adelante surgirán nuevas leyes que tengan el mismo problema matemático, como p.e. la ley de Coulomb, la resistencia eléctrica de un conductor, etc.

A continuación nos centraremos en la gravitación terrestre, es decir, las interacciones que se producen entre la Tierra y los cuerpos.

A.38. ¿Cuánto pesaría un astronauta de 85 Kg de masa en la superficie terrestre y a 650 Km de la misma ($G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ U.I., Radio de la Tierra = 6.350 Km y Masa de la Tierra = $6 \cdot 10^{24}$ Kg).

A.39. Desde el punto de vista físico la masa y el peso son conceptos distintos. Indica la diferencia que existe entre ellos.

A.40. Al estudiar en Cinemática el movimiento de caída libre de los cuerpos en la superficie terrestre, se ha indicado que todos lo hacen con la misma aceleración, fuera cual fuese su masa. Demostrarlo teniendo en cuenta la ley de la Gravitación Universal.

Comentarios A.40.

Está muy extendida la presunción de que el tiempo de caída de los cuerpos depende de su masa como se ha indicado en la Mecánica del «sentido común» y aún perdurará este preconcepto en el alumnado a pesar de haber estudiado la Cinemática. Esta es, pues, una nueva ocasión de reiterarlo demostrando al propio tiempo la coherencia entre el cuerpo teórico manejado en Cinemática y el de la Dinámica.

Las interacciones gravitatorias y las leyes que las gobiernan requieren interpretaciones a base de ideas que traten de explicar la causalidad de estos fenómenos. Ello se hace con la introducción de la idea de campo de fuerzas gravitatorias como veremos a continuación.

A.41. Exposición, por el profesor, de lo que se entiende por «campo gravitatorio» y por intensidad de dicho campo.

A.42. Indica la diferencia entre masa y peso. ¿Por qué se confunden normalmente en el lenguaje ordinario?

Comentarios A.41, A.42

Con estas actividades solamente se pretende introducir el lenguaje científico que se manejará más en profundidad en cursos superiores. Así, en primer lugar, se debatirá la noción cualitativa de campo gravitatorio y posteriormente, la introducción de una magnitud que defina la intensidad del campo en un punto ($g = F/m$), cuya dependencia de la distancia y de la masa creadora del campo puede deducirse de la Ley de la Gravitación Universal. A continuación, se relacionará la fuerza de interacción con el peso de los cuerpos y la intensidad de campo con la aceleración de la gravedad ya conocida (A.41 y A.42). Finalmente se insiste en otro error común y que encuentra dificultad entre los alumnos: la diferenciación entre masa y peso (A.43).

8. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS.

A.43. Indica razonadamente si las frases siguientes son verdaderas o falsas:

- a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza éste permanece en reposo.
- b) Un cuerpo que no acelera no está sometido a fuerza alguna.
- c) El movimiento de un cuerpo tiene siempre lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- d) Un cuerpo A choca contra otro B. Si la masa de A es doble de la de B, ¿cuál de las dos considera que pegará con mayor fuerza en el caso de que choquen?

A.44. Al pretender trepar por una cuerda se ejerce una fuerza tirando de ésta «hacia abajo». Justificar dinámicamente este hecho que habréis comprobado en multitud de ocasiones. (Realizad un dibujo que ayude a entender la respuesta).

A.45. Se lanza un cuerpo verticalmente hacia arriba. Dibuja las fuerzas que actúan sobre el mismo cuando:

- a) está ascendiendo, b) en el punto más alto de la trayectoria, y c) cuando desciende.

A.46. Un cuerpo de 10 Kg se deja caer libremente ¿qué fuerza actúa sobre él?

A.47. Dibuja las fuerzas resultantes en cada uno de los casos siguientes:

- a) Un coche que toma una curva.
- b) Un taco lanzado hacia arriba por un plano inclinado.
- c) Un paquete que se ha soltado desde un avión.

TRABAJO Y ENERGIA

Indice

Introducción

1. Nociones cualitativas de trabajo y energía
2. Concepto de trabajo
3. Concepto de energía
 - 3.1. Energía cinética
 - 3.2. Energía potencial
4. Principio de conservación de la energía
5. Medida de la eficacia en la realización de trabajo: potencia
6. Actividades complementarias

INTRODUCCION

Las palabras trabajo y energía corresponden al léxico cotidiano. Por una u otra razón todos los días oímos hablar de ellas, si bien hay que señalar que no siempre el lenguaje ordinario coincide con el científico. El término trabajo se utiliza en el lenguaje ordinario de una forma más ambigua que el utilizado en el científico, y la energía es otra de las palabras frecuentes en la vida moderna que muchas veces se identifica con la fuerza. La problemática de las centrales nucleares, la relación económica existente entre la energía y «el coste de la vida», la búsqueda de nuevas fuentes de energía etc, son cuestiones que forman indudablemente, parte de la vida actual y que tienen una relación directa con los conceptos que tratamos de introducir en este capítulo.

Comentarios a la introducción

Entre los profesores es una opinión bastante generalizada que la introducción de los conceptos de trabajo y energía presenta grandes dificultades en los primeros cursos de física. Así en International Journal of Science Education han sido publicados artículos acerca del tema y, en todos ellos, se ponen de manifiesto las dificultades antes aludidas, sobre todo en el aspecto de la conservación de la energía. Estas dificultades se agravan si tenemos en cuenta que en el lenguaje ordinario se utiliza constantemente el término energía y que la acepción de trabajo no corresponde en general al concepto científico del mismo.

1. NOCIONES CUALITATIVAS DE TRABAJO Y ENERGIA.RELACION ENTRE AMBAS.

A continuación se tratará de ver cuales son los significados de las palabras «trabajo» y «energía» que se tienen, con el fin de matizarlos cuando los utilicemos en este capítulo.

A.1. Explica lo que entiendes por trabajo. Para ello ayúdate de situaciones o casos concretos en los que creas que se realiza trabajo.

Comentarios A.1.

Con esta actividad se hace posible la exposición de las ideas de los alumnos, necesaria en una óptica de la enseñanza concebida como cambio conceptual. Aquí aparecen ejemplos y entre ellos, la confusión

existente entre esfuerzo y trabajo en determinadas situaciones concretas (p.e. sostener una mesa, empujar una pared, etc.) Convendrá debatir en la clase que la realización de trabajo implica cambio o transformación de la materia y con esta noción cualitativa se planteará y profundizará, más adelante, la definición cuantitativa de este concepto. Es en esta fase donde se deben diferenciar los conceptos de fuerza y trabajo, insistiendo en que la percepción de la transformación se realiza comparando el estado inicial del sistema con el final. En relación con esta diferenciación se debe concluir que si bien es necesario aplicar una fuerza (externa) para realizar un trabajo sobre el sistema, no es condición suficiente para lograrlo.

A.2. Explica lo que entiendes por energía. Pon ejemplos de sistemas materiales que posean energía de algún tipo.

Comentarios A.2.

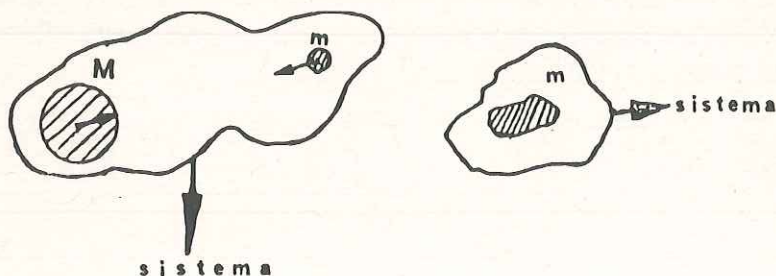
Aparecen muchos tipos de energía que se incluyen en los libros de texto o que se utilizan por los medios de comunicación, tales como energía química, nuclear, eólica, luminosa etc. Ahora bien, sí conviene salir al paso de determinados errores conceptuales muy extendidos cuando se menciona como tipo de energía la «calorífica» ya que ello supone admitir que los cuerpos son reservas de calor, conclusión que es equivocada desde el punto de vista científico actual, aunque ello será tratado más extensamente en el siguiente capítulo. En realidad y siguiendo a algunos autores la clasificación general se puede simplificar bastante: energía de movimiento, también llamada energía cinética y energía de posición o potencial en este último caso debe quedar explícito que el término energía potencial incluye la contenida en los campos de fuerza gravitatorias, electromagnéticas y nucleares. En este capítulo destacaremos la cinética y potencial gravitatoria aludiendo a ejemplos concretos (viento, pantano lleno de agua, etc...).

Hasta ahora sólo ha quedado iniciada la idea de que la energía que posee un sistema le permite realizar trabajo, presentándose de diversas formas; pero ¿qué se entiende por sistema? Esto va a ser la siguiente actividad que nos permita aclarar más este concepto.

A.3. Comentario por el profesor del concepto de sistema.

Comentario A.3.

La idea de sistema es fundamental para que los alumnos comprendan en toda su extensión el concepto de energía y se utiliza en física continuamente. Un sistema es una masa o conjunto de masas que nosotros separamos del resto del universo para estudiar lo que les sucede. Lo que queda fuera de aquél se le llama entorno o alrededores. La energía de nuestro sistema puede ser difícil de contabilizar globalmente, pero si lo simplificamos suficientemente, sólo puede ser debida: o al movimiento de la masa m o a su posición (si se encuentra en el campo gravitatorio terrestre, enlazada a otra por medio de un muelle etc...).



A.4. Indica cómo crees que puede ganar o perder energía un sistema.

Comentarios A.4.

Esta actividad pretende que los alumnos emitan como suposición (más bien hipótesis incipiente) que existe una relación entre la variación de energía y el trabajo, pues si un sistema realiza trabajo o lo recibe, el contenido energético del mismo deberá modificarse. También es cierto que se puede aludir por los alumnos al calentamiento o enfriamiento del sistema, que se tratara en el siguiente tema. En base a estas respuestas se justifica la introducción primero del tema de trabajo y energía y, posteriormente, el estudio del de calor.

A continuación, profundizaremos en el estudio por separado de los dos conceptos que hemos introducido de forma cualitativa: el trabajo y la energía.

2. CONCEPTO DE TRABAJO

La introducción del concepto de trabajo se hace en base a la selección de una transformación muy sencilla como es trasladar de un sitio un objeto aplicándole una fuerza.

A.5. Si una fuerza F está actuando sobre una masa m ¿Cuál debe ser la condición necesaria para que realice trabajo?

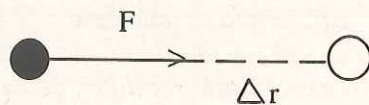
Comentarios A.5.

Con esta actividad debe lograrse clarificar el sinónimo de esfuerzo con que el lenguaje ordinario del alumno califica al trabajo y entender que para que una fuerza realice trabajo, es necesario que produzca un desplazamiento, aunque no será condición suficiente, como posteriormente veremos.

A.6. ¿De qué factores crees que puede depender el trabajo? Proponer una definición cualitativa del mismo.

Comentarios A.6.

Es deseable que la respuesta sea que el trabajo va a depender de la intensidad de la fuerza ejercida y del desplazamiento experimentado, pero también sabemos que pueden aparecer otras soluciones como por ejemplo que el trabajo depende de la fuerza ejercida y del tiempo que se está ejerciendo. Es fácil argumentar con la definición cualitativa de trabajo que el tiempo de aplicación de la fuerza no es determinante para que se transforme la materia (p.e. si no logramos desplazarlo). También se les puede recordar aquí que el producto $F \cdot t$ se llama en dinámica «impulso» y que hacía variar la cantidad de movimiento, pero puede no variar su energía como sucede en los ejemplos que se aplican fuerzas centrípetas. En resumen hay que señalar que tras la discusión de esta actividad debe concluirse que el trabajo se puede definir cuantitativamente por el producto $F \cdot r$ ya que la cantidad de trabajo será proporcional a la cantidad de fuerza aplicada y también al desplazamiento logrado mientras se aplica aquella constantemente.



A.7. Un vagón pasa del punto 1 al 2 de una vía rectilínea (figura 1). En el punto 1 el vagón lleva la velocidad v . En los siguientes casos aplicamos la fuerza F en diferentes direcciones, desde que el vagón está en 1 hasta que está en 2. ¿En qué caso será mayor el trabajo realizado por la fuerza F ? ¿En qué casos será negativo? ¿En qué casos será nulo?.

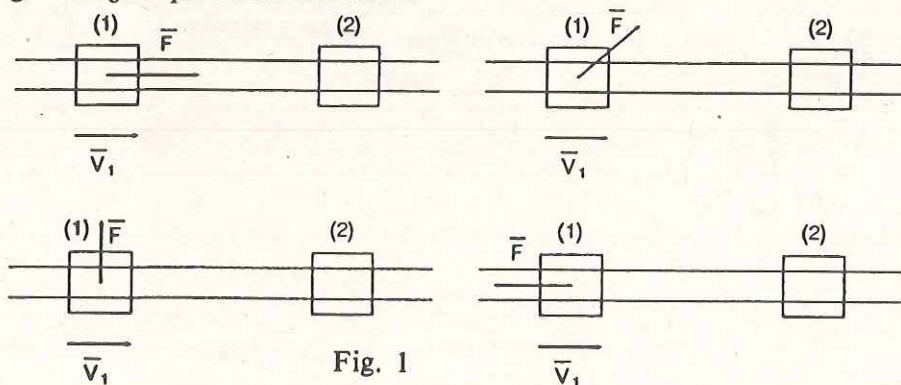


Fig. 1

Comentarios A.7.

Mediante el análisis cualitativo planteado en la actividad se pretende que el alumno comprenda que el trabajo no sólo depende de los factores citados anteriormente, sino que el ángulo entre la fuerza aplicada y el desplazamiento experimentado por el cuerpo, debe influir. En los casos en que el trabajo es positivo es interesante que comparen dónde es mayor el trabajo realizado.

A.8. Poner ejemplos de casos concretos en los que la fuerza y el desplazamiento presenten distintas direcciones o sentidos. ¿Cuánto valdrá el trabajo en cada caso?

Comentarios A.8.

Es conveniente detenerse en los siguientes casos: a) Cuerpo que describe un movimiento circular uniforme sometido a una fuerza centrípeta; b) cuerpo que desliza sobre una superficie horizontal sin rozamiento y con rozamiento. En todos los casos podríamos preguntar si hay variación de la energía del sistema y, en consecuencia, contestar sobre el trabajo realizado por las fuerzas aludidas.

A.9. Considerando el caso b) de la figura de la A.7. llegar a una definición cuantitativa del trabajo.

Comentarios A.9.

Con las actividades realizadas se trata de que el alumno sea capaz de definir cuantitativamente el trabajo, teniendo en cuenta que la fuerza que habrá de incluirse en la definición del trabajo, será la que lleva la dirección del movimiento, y por tanto, habrá de incluirse el coseno del ángulo citado, o sea:

$$W = F \cdot e \cdot \cos \alpha$$

A.10. La unidad de trabajo en el sistema internacional (S.I.) recibe el nombre de Julio (J) . Proponer una definición de la misma

A.11. Calcular el trabajo realizado por las fuerzas de la figura 2 si el desplazamiento es de 3m

$$F_1 = 14 \text{ N}$$

$$F_2 = 8 \text{ N}$$

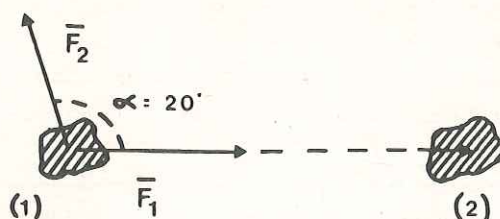


Fig. 2

A.12. Al deslizarse un cuerpo por un plano horizontal, actúan las fuerzas representadas en la figura 3 si el desplazamiento es de 8m: a) indicar las interacciones que pueden representar dichas fuerzas; b) ¿Cuál es el trabajo realizado sobre el sistema?

$$F_1 = 50 \text{ N}$$

$$F_2 = 20 \text{ N}$$

$$F_3 = 40 \text{ N}$$

$$F_4 = 40 \text{ N}$$

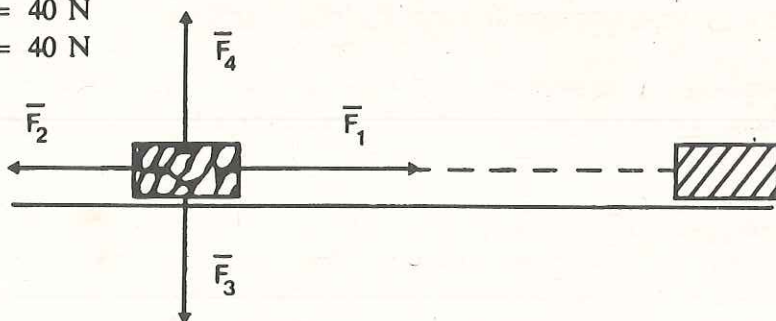


Fig. 3

Comentarios A.10. A.11. y A.12.

Una vez definida la unidad de trabajo en el sistema internacional conviene que los alumnos realicen actividades para calcular el trabajo en diferentes casos, en concreto en A.12. sería interesante que calculen el trabajo por los dos procedimientos es decir, calculando el trabajo de cada fuerza y después el trabajo total y calcular el trabajo realizado por la fuerza resultante.

A.13. Se eleva una masa de 50 kg a una altura de 12 m con una velocidad constante y prácticamente nulo. ¿Qué trabajo hemos realizado? ¿Qué trabajo ha hecho la fuerza peso? ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza resultante?

Comentarios A.13.

Se pretende que el trabajo realizado (igual y de signo contrario al del peso) se acumule en otra forma de energía del sistema distinta de la energía cinética, pues v es constante, que será la energía potencial,

ya que la masa m está siendo atraída por la Tierra, y al separarlas, nuestro sistema masa-Tierra ha ganado energía potencial. En este ejemplo se pueden diferenciar por primera vez los trabajos realizados por las fuerzas internas (en este caso efectuado por la fuerza peso) y por las fuerzas externas al sistema (fuerza con que tiramos), al propio tiempo se introduce el trabajo realizado por la fuerza neta o resultante de las fuerzas externas e internas aplicadas, que será nulo.

A.14. ¿Realiza trabajo la fuerza de la gravedad sobre la Luna al moverse alrededor de la Tierra?

Comentarios A.14.

Es importante ligar la respuesta en base al trabajo nulo (motivado por el ángulo de 90° que forman) con la no variación de la energía del sistema.

3. CONCEPTO DE ENERGIA

Antes de entrar en considerar los valores de la energía, vamos a establecer relaciones cuantitativas entre trabajo y energía, basándonos en lo establecido en el apartado 1, así como en los nuevos conocimientos adquiridos sobre el trabajo.

A.15. Establecer una relación matemática entre el trabajo realizado por o sobre el sistema y las variaciones de energía que éste puede sufrir.

Comentarios A.15.

Esta es una actividad compleja que nos permitirá definir cuantitativamente la variación de energía de un sistema al realizar trabajo. Conviene matizar en primer lugar la hipótesis que se ha venido manejando de forma cualitativa, es decir que

$$W_{ext} = \Delta E_{total}$$

La variación de energía total que experimentará el sistema, será el trabajo realizado sobre el mismo por las fuerzas externas. Por otra parte, si son las fuerzas interiores (conservativas) del sistema las que hacen el trabajo, será a costa de la energía del mismo: $W_{int} = -\Delta E_p$ y finalmente, si la aplicación de todas las fuerzas (interiores y exteriores) se traduce en un cambio de movimiento del sistema, éste aumentará su energía cinética, de donde $W_{res} = \Delta E_c$.

Estas tres relaciones matemáticas expuestas como hipótesis serán válidas cuando nos permitan solucionar coherentemente los problemas que se nos presentan. A continuación, estudiaremos algunos casos cualitativos que pueden apoyar las propuestas realizadas.

A.16. Explicar las razones que permiten justificar que los sistemas siguientes poseen energía: un arco tenso, una moto que rueda a una determinada velocidad y una lámpara colgada del techo.

Comentario A.16.

A través de lo estudiado anteriormente, se puede ahora señalar que todos los sistemas mencionados son capaces de realizar trabajo, unos porque llevan velocidad y otros por la posición que ocupan.

La energía que poseen los sistemas debido a la posición relativa de sus partes o a la velocidad reciben el nombre de energía potencial o energía cinética respectivamente. A continuación realizaremos un breve estudio de cada una de ellas.

3.1. Energía cinética

Como ya sabemos, la experiencia enseña que un cuerpo dotado de movimiento es capaz de realizar trabajo, a este tipo de energía se le llama cinética; ahora profundizaremos en ver de qué factores puede depender.

A.17. Señalar, a modo de hipótesis de qué factores dependerá la energía cinética e indicar lo que debe hacerse para conseguir variarla.

Comentarios A.17.

Los alumnos a través de su experiencia pueden señalar que este tipo de energía debe depender de la masa y de la velocidad; por otra parte, para variar la energía cinética será necesario modificar la velocidad y por tanto habrá que realizar una fuerza neta que provoque una aceleración y que, obviamente, dará lugar a un trabajo resultante. Idea que es necesario retener para utilizarla más adelante en situaciones más complejas.

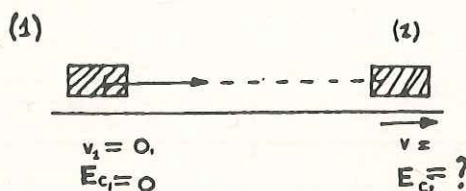
A.18. Recordando la relación entre el trabajo resultante realizado sobre el sistema y la variación de la energía cinética del mismo, deducir una expresión cuantitativa de la energía cinética en función de los factores de que depende. (Considerar el caso más simple de un cuerpo de masa m que parte del reposo, y que al aplicarle una fuerza resultante, pasa a tener una velocidad v).

Comentarios A.18.

Considerando que cuando un sistema cambia de energía cinética debe realizarse un trabajo resultante, se recordará que $W_{res} = \Delta E_c$ y que, en este caso particular (ver figura adjunta) se podrá obtener el valor de la energía cinética:

$$\begin{aligned} \Delta E_c &= E_{c2} - E_{c1}; \text{ como } E_{c1} = 0, W_{res} = E_{c2} \\ W_{res} &= F \cdot e \cdot \cos 0 = F \cdot e \\ W_{res} &= m \cdot a \cdot (1/2 at^2) = 1/2 m (at^2) = 1/2 m \cdot v^2 \end{aligned}$$

En definitiva se obtiene así la definición de la energía cinética que conviene generalizar a todos los casos.



A.19. Comparar la energía cinética de una bala de 100 g que lleva una velocidad de 360 m/s con la de un camión de 3 tm que marcha a una velocidad de 7,2 km/h.

A.20. ¿Qué trabajo será necesario realizar para que un cuerpo de 200 kg de masa que lleva una velocidad de 36 km/h adquiera la velocidad de 72 km/h?

A.21. La fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo de 30 kg, ha realizado sobre él un trabajo de 2500 J. Si inicialmente la velocidad era de 8 m/s, ¿cuál será la nueva velocidad después de haberse realizado dicho trabajo?

3.2. Energía potencial gravitatoria.

En la práctica nos encontramos con numerosos sistemas de partículas que, estando en reposo, poseen energía debido a la situación en que se encuentran al estar sometidos a fuerzas entre ellas (fuerzas interiores del sistema). Como ejemplos podemos citar: dos imanes situados a una distancia próxima, un cuerpo situado a una altura sobre la superficie terrestre, dos cuerpos enlazados por un muelle en posición tensa, etc. De entre estos casos vamos a referirnos únicamente a la energía potencial gravitatoria, es decir al sistema formado por la Tierra y un cuerpo sometido a la atracción gravitatoria.

A.22. Un cuerpo situado a una altura cae al dejarlo libre. Señalar qué fuerza realiza trabajo en esta transformación y citar la relación existente entre éste y la variación de la energía experimentada.

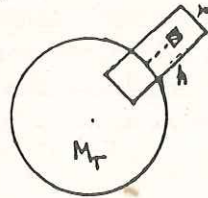
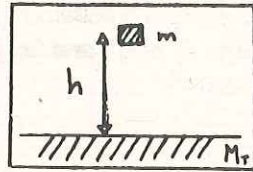
Comentarios A.22.

A través de esta actividad, hay que recordar el concepto de trabajo interno y su relación con la variación de la energía potencial del sistema que lo hace $W_{int} = -\Delta E_p$ donde interesa también el significado físico del signo negativo.

A.23. ¿De qué factores dependerá la energía potencial del sistema formado por una masa m y la Tierra?

Comentarios A.23.

Se supone que la energía potencial del sistema será mayor cuanto más alejadas estén las dos masas. Para los sistemas que consideramos, distancias próximas a la Tierra, la energía potencial podemos señalar que dependerá de la masa m y de la altura (g puede considerarse constante). Siempre conviene recordar que la energía potencial es de todo el sistema, si bien se atribuye normalmente al cuerpo de masa m cuya distancia al otro cuerpo se va a variar.



A.24. Calcular el valor de la energía potencial de una masa m situada a una altura h sobre la superficie terrestre. (por convenio consideramos que $E_p = 0$ cuando $h = 0$).

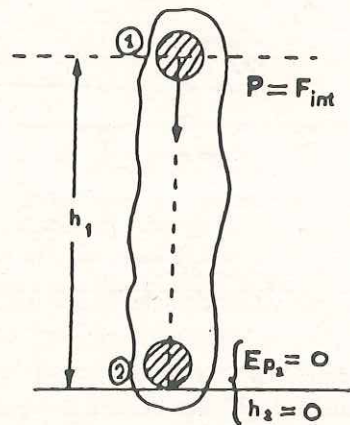
Comentario A.24.

Si en la situación 1 de la figura, la E_p presenta un valor determinado, y en la 2 la E_p es 0, cuando el sistema pasa de 1 a 2 «gasta» su energía potencial debido al trabajo realizado por las fuerzas interiores del sistema (el peso del cuerpo). Así:

$$W_{int} = -\Delta E_p = -(E_{p2} - E_{p1}) = E_{p1}$$

$$W_{int} = F_{int} \cdot \Delta e \cdot \cos = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1$$



A.25. Un cuerpo de 75 kg está situado a 26 m de altura. ¿Cuál será su energía potencial gravitatoria? Si sobre el cuerpo anterior realizamos un trabajo de 7500 J elevándolo a una altura mayor, (a velocidad constante) ¿Cuál será la nueva energía potencial?. ¿Y la nueva altura?

A.26. Un cuerpo de 5kg se encuentra sobre una mesa de 1m de altura en una habitación cuyo suelo se encuentra a 20 m del suelo de la calle. ¿Cuál es la energía potencial de dicho cuerpo? ¿Y su energía cinética respecto a la habitación y respecto al Sol?

Comentarios A.26.

El objetivo de la actividad es que se comprenda que los valores de las energías potencial y cinética son valores relativos, pues dependen de los sistemas de referencia elegidos.

4. PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA ENERGIA

En general vimos que las fuerzas exteriores a un sistema si realizan trabajo sobre él pueden variar la energía del mismo, aumentándola o disminuyéndola si el trabajo es positivo o negativo. Estos sistemas sobre los que las fuerzas exteriores realizan trabajo se llaman sistemas no aislados. En unos casos este trabajo exterior servía para variar la energía potencial del sistema y en otros, para hacer lo propio sobre su energía cinética; ahora plantearemos el problema general de lo que sucede si realmente hay una variación de ambas.

En todos estos casos se seguirá suponiendo que no hay rozamiento (caso más sencillo).

A.27. Un alumno eleva un libro desde el suelo hasta una cierta altura aplicando una fuerza constante y superior al peso. Indicar en qué se ha convertido el trabajo realizado sobre el libro y establecer la relación existente entre aquél trabajo y las variaciones de energía que ha sufrido.

Comentarios A.27.

Al haber una fuerza resultante, se producirá una variación de la velocidad, por lo que por lo que se produce un aumento de la energía cinética, pero, como asimismo el cuerpo es elevado, también aumentará la energía potencial.

En general pues, el trabajo realizado por una fuerza exterior sobre el sistema, puede variar su energía cinética y potencial. En un sistema no aislado, la energía total puede aumentar o disminuir según el signo del trabajo realizado por la fuerza exterior.

$$W_{ext} = \Delta E_p + \Delta E_c$$

A.28. Señalar las transformaciones energéticas que se producen cuando un cuerpo es dejado caer libremente desde una cierta altura.

Comentarios A.28.

Al caer el objeto pierde altura y gana velocidad, energéticamente podemos señalar que pierde energía potencial y gana cinética. Aplicando la expresión anterior, al ser 0 el trabajo externo no habrá variación de la energía total del sistema lo que nos indica que la pérdida de energía potencial será, numéricamente, igual a la ganada en forma de cinética.

Los sistemas en los que no actúan fuerzas externas reciben el nombre de sistemas aislados y en ellos la energía total mecánica (cinética y potencial) se conserva pudiendo escribir: $E_c + E_p = \text{constante}$. Veamos un caso más complicado en que el sistema también está aislado.

A.29. Desde el suelo se lanza hacia arriba un cuerpo de masa m a la velocidad v . Describir cómo debe variar su energía cinética y potencial hasta llegar al suelo.

A.30. Un cuerpo cae por acción de la gravedad desde una altura de 30m. Si su masa es de 4 kg, dar los valores de las energías cinética y potencial así como la total, cuando se encuentra en los puntos de altura: 30, 20, 10 y 0 m. Representar gráficamente estos valores de las energías frente a la posición.

A.31. Un cuerpo cae por acción de la gravedad de modo que al pasar por un punto de altura 8 m su velocidad es de 10 m/s. ¿Qué velocidad llevará cuando pase por un punto situado a 2 m de altura?

Vamos a considerar ahora el caso de sistemas en los que no se conserva la energía como puede ser el caso de una masa al chocar contra el suelo o el más extendido de que exista rozamiento.

A.32. ¿Qué ocurre con la energía cinética de un cuerpo que es lanzado por un plano horizontal con rozamiento?

Comentarios A.32.

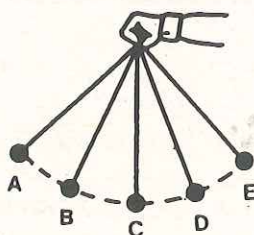
La experiencia demuestra que un cuerpo lanzado por un plano horizontal con rozamiento, pierde velocidad hasta pararse, es decir pierde energía cinética. Estos sistemas aislados que evolucionan con pérdida de energía reciben el nombre de sistemas disipativos en contraposición de los denominados conservativos, en los que la energía (cinética y potencial) se conserva.

A.33. Se lanza por una pendiente hacia arriba un cuerpo de 300 kg con una velocidad de 50 m/s. Calcular hasta qué altura ascenderá si durante la subida se disipa una energía mecánica por rozamiento de 75000 J.

A.34. Una masa de 25 kg se lanza a una velocidad de 20 m/s por una superficie horizontal y, después de recorrer 8m su velocidad resulta ser de 16 m/s. Se pide: a) la variación de su energía total; b) ¿En qué se ha convertido la energía disipada?; c) ¿Cuál es el valor de la fuerza de rozamiento?.

- A.35. La bola de un péndulo simple (figura 4) oscila entre las posiciones A y E
- Comentar las variaciones de las energías potencial y cinética que experimenta la bola al pasar de A hasta E.
 - Ordenar las posiciones ABCDE según la velocidad de la bola.

Fig.4



5. MEDIDA DE LA EFICACIA EN LA REALIZACION DE TRABAJO: POTENCIA

Hasta ahora hemos considerado los intercambios de energía en forma de trabajo sin considerar el tiempo en el que tienen lugar. Pero resulta evidente que si una máquina es capaz de realizar el mismo trabajo en menor tiempo, más eficaz será o, por otra parte, nos puede interesar conocer la energía que es capaz de aportar, en un determinado tiempo, un determinado mecanismo.

- A.36. Proponer una definición de una nueva magnitud que pueda utilizarse para medir la rapidez en la realización de un trabajo o en el suministro de energía.

Comentarios A.36.

En esta actividad se llega a una definición de una nueva magnitud que denominaremos potencia y que puede definir operativamente:

$$P = W / \Delta t.$$

- A.37. Definir la unidad de potencia en el S.I. y señalar unidades de potencia que conozcáis.

Comentarios A.37.

Es probable que los alumnos hayan oído hablar de kilowatios y de caballos de vapor, lo que se aprovechará para explicar las equivalencias. También es conveniente aclarar que la unidad kw.h no es unidad de potencia sino de trabajo realizado o de energía consumida.

- A.38. Una máquina eleva una masa de 200 kg a una altura de 15 m en 8 s ¿Qué potencia desarrolla?. Dar el resultado en W, kW y CV. (Considerar que la subida es uniforme.)
- A.39. Una máquina de 12 CV ¿Qué trabajo puede desarrollar en 0,5 h?
- A.40. ¿Qué ventajas presentará una moto de más potencia frente a otra de menor potencia? Explícalo.
- A.41. Una central eléctrica está situada en un salto de agua de 30 m de altura. Si el caudal del mismo es de 2 m³/s, ¿Cuál será la potencia de la central si el rendimiento de toda la instalación es del 45 %? Expresar el resultado en kW.

Comentarios A.38 a A.41.

Con estas actividades se pretende que los alumnos apliquen a casos concretos y conocidos por ellos el concepto de potencia y sus unidades.

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.42. Se desea subir una masa m a una altura determinada, para lo cual podemos: a) utilizar una cuerda y, tirando de ella, la subimos verticalmente o b) subirla por un plano inclinado sin rozamiento, tirando también de la cuerda tal como indica la figura 5. ¿En qué caso realizamos más trabajo? ¿Qué condiciones aconsejan hacerlo de una manera u otra?

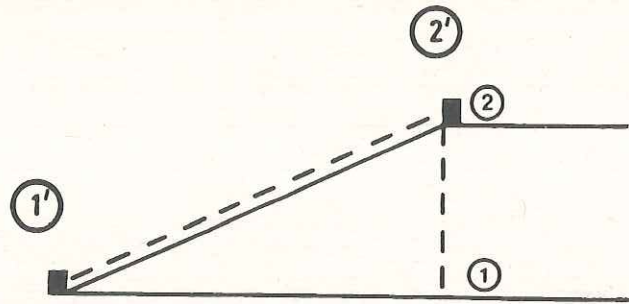


Fig. 5

A.43. Disponemos de una superficie perfectamente lisa (sin rozamiento) cuyo perfil viene representado en la figura 6 (similar a una montaña rusa). Si se deja una masa m en el punto A, a) ¿Hasta dónde llegará deslizándose libremente? b) ¿Cuál será su energía potencial y cinética en los puntos B y C? c) ¿Cuál será la velocidad en los puntos del apartado anterior?.

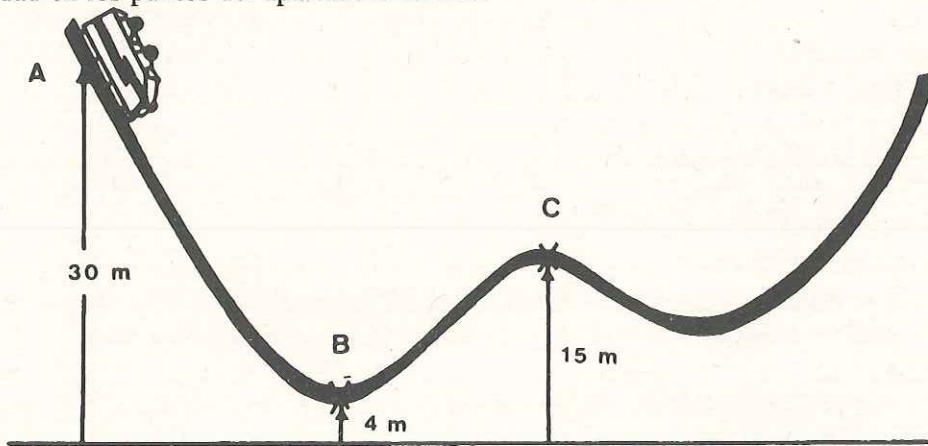


Fig. 6

A.44. Se dejan caer dos objetos de la misma masa a lo largo de los planos inclinados 1 y 2 de la figura 7. En el supuesto de que el rozamiento sea despreciable: a) ¿Qué relación habrá entre las velocidades de llegada al suelo de ambos objetos? b) ¿En qué plano inclinado es mayor la aceleración? ¿Quién llega antes al suelo? c) ¿Qué ocurrirá si las masas fueran distintas en los apartados a y b?.

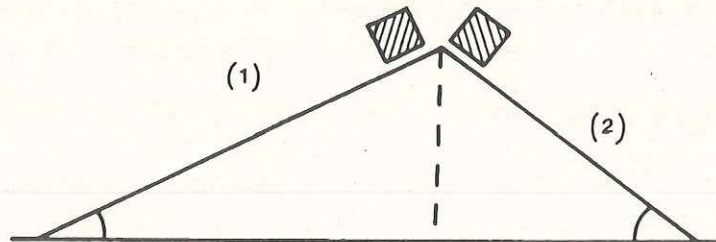


Fig. 7

A.45. Considera el tiempo de funcionamiento de cada uno de los aparatos eléctricos de tu casa, (TV, lavadora, bombillas etc.) y deduce el gasto energético durante dos meses. Compara este resultado con el que aparece en un recibo ordinario de la luz.

A.46. ¿Cómo crees que varía la energía cinética de un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba, a medida que la altura aumenta hasta alcanzar su valor máximo? ¿Y la energía total? (Ver figura 8)

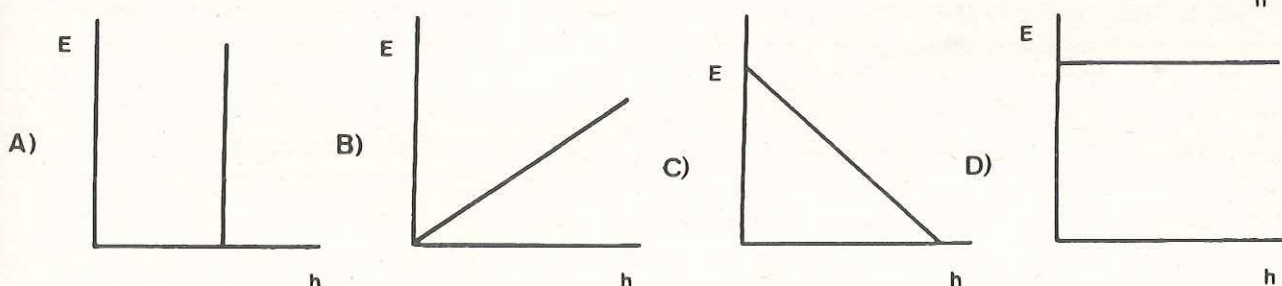


Fig. 8

LA CIENCIA DEL CALOR Y SU INTEGRACION EN LA MECANICA

Indice

1. Introducción
2. Temperatura y calor.
 - 2.1 Medida de la temperatura.
 - 2.2 Medida del calor.
3. El equilibrio térmico.
4. Otros fenómenos asociados con el calor.
5. Naturaleza del calor.
6. Extensión del principio de conservación de la energía.
7. Actividades complementarias.

INTRODUCCION

Quizás sean los fenómenos caloríficos los más antiguamente conocidos por el hombre y, sin embargo, el establecimiento de la primera ciencia del calor (la teoría del calórico) fue bastante tardía, hasta que se introdujeron instrumentos que pudieran medir de forma objetiva la temperatura.

En este capítulo se estudiará como se ha llegado a diferenciar entre los conceptos de temperatura y calor y como se llegó a establecer la naturaleza del calor, lo que hizo posible la integración de la ciencia del calor en el cuerpo teórico de la Mecánica.

1. TEMPERATURA Y CALOR

Cualquier ciencia necesita para su desarrollo la introducción de magnitudes adecuadas e instrumentos necesarios para su medida. En el caso de la ciencia del calor, la historia nos muestra como su desarrollo ha venido condicionado por la introducción y medida de la temperatura y por su diferenciación del concepto de calor. Este será el primer problema que abordemos.

A.1. Los términos calor y temperatura son utilizados con frecuencia en la vida cotidiana. ¿Qué entendéis por calor y por temperatura?

Comentarios A.1

Esta es una actividad de carácter abierto para que los alumnos expongan sus ideas y preconceptos respecto de estos dos conceptos que, en general, identifican entre sí como muestra la abundante literatura sobre este asunto (Cervantes, 1986). Precisamente la significación física de estas magnitudes y su diferenciación será uno de los objetivos fundamentales del tema. Convendrá, en esta fase, considerar positivamente las ideas de los alumnos y dejar planteado como problema a resolver si realmente el calor y la temperatura son magnitudes distintas. No obstante, sí debe quedar claramente formulado que el adjetivo «caliente» puede presentar varias acepciones como «tener más calor» o «tener más temperatura» que en el lenguaje cotidiano parecen tener el mismo significado, pero no ocurre así en el contexto científico, como se verá más adelante.

1.1. Medida de la temperatura

A.2. ¿Por qué nuestra sensación fisiológica de calor y frío no sirve para apreciar cuantitativamente la temperatura de un cuerpo?

A.3. Exponed los efectos que pueden producir en los cuerpos un aumento o disminución de su temperatura.

Comentario A.2 y A.3

La apreciación táctil de que un cuerpo está más o menos caliente conduce, en general, a conclusiones erróneas y no puede ser utilizada esta sensación como medida de la temperatura. Puede cuestionarse a continuación cómo se podría constatar que ello es así y se puede plantear el experimento de los tres recipientes con agua fría, tibia y caliente. Este experimento consiste en introducir inicialmente cada mano en los recipientes de agua fría y caliente para finalmente introducirlas en el de agua tibia. Las impresiones fisiológicas son diferentes a pesar de que la temperatura del agua tibia es la misma.

A continuación, en la A.3 se pasa a debatir qué efectos físicos produce en los objetos la variación de temperatura con el fin de buscar un fundamento a la medida de dicha magnitud.

A.4. El fundamento físico de la medida de la temperatura se basó en los efectos que produce su variación sobre el volumen de los cuerpos. Diseña la construcción de un termómetro.

Comentario A.4

Si bien estos efectos de dilatación/contracción de los cuerpos es fácilmente contestada por los alumnos, es mucho más complicado el diseño para corroborarlo, ya que se requiere pensar, en caso de que se utilicen líquidos, en recipientes con tubuladuras estrechas para que pueda observarse fácilmente una pequeña variación de temperatura, así como otros detalles técnicos. También se tendrá que incidir en la necesidad de establecer puntos fijos (cambios de estado) para efectuar un calibrado, así como en el convenio utilizado, al menos, en la escala centígrada.

Es conveniente que el profesor haga una pequeña ampliación acerca de las otras posibilidades de medir la temperatura mediante termómetros de gases, pirómetros, pares termoeléctricos, etc...

1.2. Medida del calor ganado o cedido por un cuerpo

Ya sabemos cómo medir la temperatura de los cuerpos con un termómetro. Ello nos permite, ahora, plantearnos el problema del calor y su diferencia con la temperatura.

A.5. Teniendo presente que ya podemos medir la temperatura de un cuerpo, diseña algún experimento que permita observar si la variación de temperatura mide o no la cantidad de calor tomado por el cuerpo.

Comentario A.5

Los alumnos que están familiarizados con diversas fuentes de calor (mechero de gas, hornillo eléctrico, el sol, etc...) es fácil que propongan que dando el mismo calor (p.e. midiendo el tiempo de funcionamiento del mismo mechero) se obtienen efectos térmicos diferentes bien cuando se toman diversas sustancias, bien masas distintas de la misma sustancia o, simplemente, cuando no varía la temperatura en los cambios de estado. El detalle de cómo dar el mismo calor puede ser resuelto utilizando como medida la del tiempo de funcionamiento del foco calorífico (mechero, hornillo, etc...) siempre que sea el mismo foco y que el caudal de gas quemado sea aproximadamente constante.

A continuación introduciremos una forma de medir el calor que se base en la elevación o disminución de temperatura conseguida cuando se calientan o enfrían, en lugar de hacerla depender de la fuente de calor utilizada.

A.6. Emitid hipótesis respecto de los factores de que puede depender el calor tomado o cedido por una masa de agua al hacer variar su temperatura.

A.7. Diseñad las experiencias necesarias para comprobar las hipótesis emitidas en el apartado anterior.

A.8. Realizad las experiencias diseñadas e interpretad los resultados obtenidos, haciendo las representaciones gráficas que se requieran.

A.9. ¿Qué significado físico tiene la constante $Q/m \cdot \Delta t$? ¿De qué dependerá esta constante?

El agua es un buen patrón de sustancias para medir el calor. Es una sustancia abundante y además su temperatura varía poco con el calor absorbido o cedido, por ello se aprovechó para introducir la caloría como unidad de calor. Veamos como se interpreta su significado.

A.10. La unidad de calor recibió el nombre de «caloría», proponed una definición de la misma.

Como hemos estudiado en A.9, el valor de la constante $Q/m \cdot t$ depende del tipo de sustancia y se le conoce con el nombre de «calor específico». A continuación se dan algunos valores de calores específicos en $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$:

Tabla I

Agua	1	Hierro	0.110
Etanol	0.55	Cobre	0.093
Hielo	0.50	Mercurio	0.033
Aluminio	0.21	Plomo	0.031
Vidrio	0.15		

A.11. ¿Qué significa decir que el calor específico del hierro es 0.11? Comparad y comentad los valores de la tabla I.

A.12. La arena de la playa se calienta en verano por efecto del Sol. La arena seca nos quema los pies mientras que mojada no. ¿Cómo se puede explicar si el Sol da igual cantidad de calor a ambos tipos de arena?

Comentario a las actividades A.6 a A.12

En este conjunto de actividades se pretende que los alumnos emitan las hipótesis de que el calor tomado por el agua dependerá directamente de la elevación de temperatura (Δt) si la masa de líquido se ha mantenido constante, así como, directamente también, de la masa del agua si la elevación de temperatura se mantiene constante (esquema de control de variables) y que, por tanto, este análisis nos conducirá a proponer que:

$$Q \propto \Delta t \text{ (si } m \text{ es constante)}$$

$$Q \propto m \text{ (si } \Delta t \text{ se mantiene constante)}$$

cuya síntesis será la proporcionalidad compuesta: $Q \propto m \cdot \Delta t$.

Cada una de estas hipótesis puede ser contrastada experimentalmente teniendo cuidado de que los experimentos se hagan en el laboratorio sin corrientes de aire, con mecheros que tengan suficiente cantidad de gas para tener una combustión regular, etc... Las dos representaciones gráficas de calentamiento resultarán aproximadamente lineales. En resumen se obtendrá que: $Q = k \cdot m \cdot \Delta t$ y se podrá debatir el significado físico de la constante k como el calor necesario para aumentar un grado centígrado la masa de un gramo (o de un kg) de agua en este caso concreto. La medida de calor tomando como patrón el agua se planteará en la siguiente actividad (A.10) donde se definirá la caloría haciendo $k = 1$ y la generalización para todas las sustancias se conseguirá con la introducción del calor específico, con sólo recordar el significado de la constante anterior (k).

A continuación se propone una actividad como ejercicio de aplicación de la medida del calor.

A.13. Calcular la cantidad de calor necesaria para calentar 50 kg de hierro de 12 a 65°C . ¿Qué calor sería necesario para calentar igual cantidad de agua con idéntica variación de temperatura?

2. EQUILIBRIO TÉRMICO

Hasta el momento hemos estudiado los efectos que produce una cantidad de calor sobre una determinada sustancia. Para explicarlo hemos introducido y definido las magnitudes siguientes: calor, temperatura y calor específico.

Pasemos ahora a estudiar qué ocurrirá cuando dos cuerpos a distinta temperatura se ponen en contacto. Para ello debemos de tener en cuenta dos ideas: a) Los cuerpos intercambian entre sí «algo» que llamamos calor cuya naturaleza desconocemos y que analizaremos después; b) para estudiar estos

intercambios aislaremos el sistema (sistema aislado). O sea, consideraremos que el sistema, dentro del cual se sitúan aquellos dos cuerpos, no puede intercambiar calor con el exterior. Lo más parecido a un sistema aislado que nos sea familiar es un termo de los que usamos en casa para guardar algún líquido caliente o frío.

- A.14. ¿Qué sucede, desde el punto de vista térmico y de las cantidades de calor implicadas, cuando se ponen en contacto dos cuerpos a distinta temperatura?
- A.15. A título de hipótesis formula una expresión matemática que nos calcule la temperatura final de dos cuerpos que entran en contacto sean cuales sean sus masas, temperaturas iniciales y tipos de sustancia.
- A.16. Diseña una experiencia que verifique la validez de la hipótesis formulada.
- A.17. Realiza, en el laboratorio, la experiencia diseñada.
- A.18. Tenemos un litro de agua a 45°C al que añadimos 1.5 kg de cobre a 20°C. ¿Cuál será la temperatura final al mezclar ambas sustancias?
- A.19. Diseña un experimento que permita determinar el calor específico del aluminio.

Comentario al apartado 2

En la A.14 se plantea una aproximación cualitativa al problema según el cual existe un tránsito de calor del cuerpo caliente al frío, que supondrá, en definitiva y como se verá más adelante, un «principio de conservación de la energía» siempre que los dos cuerpos estuvieran aislados. Posteriormente en la A.15 se formulará en forma matemática que $Q_1 + Q_2 = 0$ y ya en la A.16 se propone una consecuencia derivada de esta hipótesis, cual es la determinación de la temperatura final que puede ser constatada en un experimento. Hay que tener presente en el diseño algunos detalles técnicos como p.e. la utilización de recipientes de polietileno o de cloruro de polivinilo que son bastantes aislantes, el uso de dos líquidos (preferentemente agua) por su facilidad en mezclarlos y el problema de la medida de la temperatura de equilibrio aconsejándose la utilización de dos termómetros para ver que en ambos se llega a la misma temperatura mientras se agita.

La A.18 supone un avance más en dificultad al mezclar un sólido (cobre) con el agua y, al mismo tiempo, es una actividad puente para plantear la determinación experimental de calores específicos que se cuestiona en A.19.

3. OTROS FENOMENOS ASOCIADOS CON EL CALOR

Ya se ha mencionado antes cuáles eran algunos de los efectos del calor que ahora trataremos de describir aunque no en profundidad. En especial, se considerarán: los cambios de estado de las sustancias, las dilataciones o contracciones que sufren los cuerpos al calentarse o enfriarse respectivamente y los fenómenos de calentamiento que sufren los cuerpos cuando se frota. Pasemos, pues, a estudiar el primero de ellos.

- A.20. ¿Se puede tener el hierro gaseoso o el aire líquido? Comentad los cambios de estado que pueden ocurrir en las sustancias, dadles nombre y buscad ejemplos cotidianos para cada uno de ellos.
- A.21. Explica qué sucede con la temperatura en un cambio de estado y de qué factores dependerá el calor necesario para efectuar el cambio completo de estado de una masa dada de sustancia.
- A.22. Sacamos del congelador 50 g de hielo a -18°C y queremos convertirlo en vapor de agua a 100°C, ¿cuánto calor necesitaremos? ($q_f = 80 \text{ cal/g}$ y $q_v = 560 \text{ cal/g}$).

Comentario a A.20, A.21 y A.22

Tras una primera actividad para que se recuerden las seis posibilidades de cambios de estado, se plantea nuevamente la emisión de hipótesis con la dependencia del calor absorbido respecto de la masa de sustancia cambiada de estado y de la naturaleza de la misma. Ello se expresará matemáticamente, como

de costumbre, en la forma: $Q \propto m$ (para la misma sustancia) que se convertirá en la expresión ordinaria: $Q/m = q_c$ (constante que dependerá del tipo de sustancia y del cambio de estado particular). Por otra parte, en la A.21 se fija la atención en la constancia de la temperatura durante el cambio de estado, de ahí, que en el lenguaje utilizado en la época del calórico se le llamara «calor latente» (contenido en la sustancia) por oposición al calor que producía la elevación de la temperatura (calor sensible). Finalmente, en esta breve exposición se plantea un problema de aplicación que combina varios cambios de estado, y que tiene como dificultad la descomposición en partes (análisis) del mismo.

Otro fenómeno importante asociado con el calor son los cambios de volumen (dilataciones y contracciones) que tienen todas las sustancias en cualquier estado (sólidos, líquidos y gases) cuando varía su temperatura.

A.23. Al ir por el puente de una autopista se encuentra, cada determinada longitud, una junta de dilatación (se nota como si existiese un bache), ¿cuál es la razón por la que se adoptan estas medidas en la construcción?

A.24. ¿De qué factores dependerá el aumento de volumen (V) que sufre un cuerpo al elevar su temperatura? Diseñar experimentos para comprobar las hipótesis emitidas.

Comentario A.23 y A.24

Después de una actividad que tiene como fundamento la aproximación entre la vida cotidiana y la Física se ataca directamente el problema tratando de formular que la variación (aumento o disminución) del volumen, V, dependerá directamente de la variación de temperatura y de la magnitud del volumen inicial (V_0), así como de la naturaleza de la sustancia calentada o enfriada (si se exceptúan los gases):

$$\left. \begin{array}{l} \Delta V \propto V \\ \Delta V \propto \Delta t \end{array} \right\} \Delta V \propto V \cdot \Delta t \text{ de donde } \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta t} = K$$

o lo que es lo mismo $V = K \cdot V_0 \cdot \Delta t$, o su traducción $V = V_0(1 + k \cdot \Delta t)$, expresión que los alumnos pueden recordar de cursos anteriores.

El coeficiente de dilatación de las sustancias (k) se ha supuesto que depende de la naturaleza de la sustancia y así se ha comprobado en el caso de los sólidos y de los líquidos; sin embargo, no ocurre así en los gases cuyo comportamiento es unitario. Es decir, todos los gases tienen aproximadamente el mismo coeficiente de dilatación ($k = 1/273 = 0.00366$) a presión constante. Precisamente este comportamiento singular de los gases será tratado más extensamente en el capítulo 11 y servirá para dar entrada al problema de la continuidad/discontinuidad de la materia, como veremos más adelante.

A.25. Representa gráficamente el volumen de un gas (V) frente a la temperatura centígrada, suponiendo que $V_0 = 10$ litros a $t_0 = 0^\circ$. ¿A qué temperatura el volumen del gas tendería a ser nulo?

A.26. Explicación por el profesor del concepto de «cero absoluto» de temperatura y de la escala Kelvin de temperaturas.

Comentario A.25 y A.26

Aunque posteriormente se insistirá en el estudio de la Química sobre los gases, es conveniente proponer aquí el cambio de escalas de temperaturas como conclusión de estas actividades. Al mismo tiempo que los alumnos se ejercitan en la representación gráfica, se analizan estos resultados llegando a la idea del cero absoluto de temperaturas ligada a la concepción absurda de un volumen negativo para la materia por debajo de -273 C.

Terminaremos este apartado dedicado a la fenomenología del calor haciendo una breve mención de la posibilidad de producir calor mediante el rozamiento entre superficies de objetos, fenómeno importante en el debate sobre la naturaleza del calor.

A.27. Algunas tribus hacían fuego frotando dos palos de madera, ¿cómo puede explicarse este fenómeno? (Recordad que la madera no suele producir chispas cuando se frota).

A.28. Cuando un coche baja un puerto de montaña, los buenos conductores procuran reducir la velocidad en lugar de utilizar los frenos porque su abuso acarrea, con frecuencia, que éstos «fallen». ¿Cuál puede ser la explicación científica de este fenómeno?

Comentario A.27 y A.28

La presentación de estos ejemplos concretos centran la atención de los alumnos en la producción de calor mediante frotamiento y aunque es difícil de relacionar éste con el trabajo de rozamiento, preparan el camino a la ulterior discusión de la naturaleza del calor que trataremos a continuación.

4. NATURALEZA DEL CALOR

Una vez familiarizados con los fenómenos del calor donde se ha pretendido no sólo medirlo sino también diferenciarlo del término «temperatura», debemos plantearnos cual es la idea actualmente aceptada para el calor.

A.29. Exposición del profesor de la teoría del calórico como sustancia contenida en los cuerpos.

A.30. Diseña un experimento para comprobar la falsedad de la hipótesis: «El calor es una sustancia contenida en los cuerpos calientes».

Comentario A.29 y A.30

La presentación del problema de la naturaleza del calor se plantea de forma histórica, teniendo en cuenta que actualmente abunda en alumnos de estas edades la concepción intuitiva de que el calor es una clase de sustancia (Carrascosa, 1985; Cervantes, 1986). Con esta idea similar a la expresada en la teoría del calórico se pueden interpretar de forma verosímil y coherente algunos de los fenómenos caloríficos estudiados como, p.e., el equilibrio térmico o la dilatación/contracción de los cuerpos. Ahora bien, esta hipótesis principal de la teoría del calórico puede ser puesta en duda al no ser perceptible la masa del calor aún utilizando las balanzas más sensibles. Al mismo tiempo, no resulta tan sencilla la interpretación de los experimentos de calefacción por fricción, como p.e. los realizados por Thomson el siglo pasado (Holton y Roller, 1963), donde el frotamiento era como una fuente inagotable de calor y ello invalidaba el carácter material del calórico.

A.31. ¿Cuál puede ser la naturaleza del calor que permita explicar los siguientes fenómenos ya observados?

- el equilibrio térmico,
- la dilatación de los cuerpos y
- la producción de calor mediante rozamiento

A.32. Diseña algún experimento para establecer una posible relación entre el trabajo exterior hecho sobre un sistema y el calor producido.

A.33. La relación cuantitativa de equivalencia entre el calor y el trabajo fue obtenida por primera vez por Joule. Explica con claridad cómo puede medirse el trabajo realizado por las paletas y el calor producido en el calorímetro (Fig. 1).

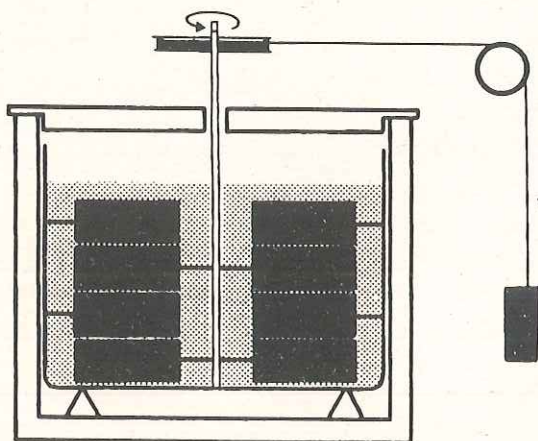


Figura 1. Calorímetro

A.34. ¿Cuál es el significado físico de la expresión: «el equivalente mecánico del calor es 4.18 J/cal »?

Comentario a las A.31, A.32, A.33 y A.34

Otro error conceptual muy frecuente en alumnos de mayor nivel es el que considera al calor como una forma más de energía, lo que nos llevaría coherentemente a la idea de que puede ser contenido en los cuerpos, idea a todas luces equivocada. La actual idea de la naturaleza del calor como la energía que se transvasa de un sistema a otro que se encuentran a diferentes temperaturas, nos permite relacionarlo más fácilmente con el de trabajo (los cuerpos tampoco tienen trabajo). La interpretación de los fenómenos ordinarios con esta idea es coherente tanto al explicar el equilibrio térmico (donde se aprecia más fácilmente el tránsito) como la dilatación de los cuerpos (si se conoce que las partículas unidas en el sólido están vibrando alrededor de un centro y que el calor absorbido aumenta la energía de vibración y con ella el mayor alejamiento del punto de equilibrio) y, finalmente, el frotamiento donde se refuerza la idea de que la realización de un trabajo conduce a la aparición de calor (A.31). En la A.32 el problema fundamental en los alumnos será establecer la relación de equivalencia entre el trabajo y el calor, es decir, que independientemente de la forma y método de obtener el calor a partir del trabajo (o viceversa) la misma cantidad de trabajo producirá siempre la misma cantidad de calor. No menos importante son los detalles técnicos que pueden surgir en el diseño experimental, pues aunque el calor no es difícil de medir (en condiciones de aislamiento relativo), no ocurre lo mismo con el trabajo para los alumnos. Por ello se plantea la A.33, mientras que en la A.34 se realiza la interpretación significativa del equivalente mecánico del calor que aparece constantemente en la bibliografía y que se aprende memorísticamente por el alumnado.

A.35. Síntesis por el profesor de la idea actual de calor.

A.36. Explica en qué se invierte la energía que se da a un gas cuando éste se calienta.

A.37. ¿Cómo podemos explicar el cambio de estado de líquido a gas según nuestra concepción actual de calor?

A.38. ¿Qué indica realmente la temperatura de un cuerpo?

Comentario A.35, A.36, A.37 y A.38

Finalmente el profesor reformulará como conclusión del capítulo la integración de la Ciencia del calor en la mecánica, al considerarlo como una energía en tránsito que se intercambia entre dos sistemas que se encuentran a distinta temperatura y que es conjuntamente con la realización de trabajo una de las dos formas ordinarias de intercambio de energía. Más en concreto, el calor será una forma de trabajo submicroscópico realizado entre dos sistemas que intercambian energía cinética entre sus partículas al equilibrar las velocidades medias de las mismas (equilibrio térmico) o que transforman dicha energía cinética en energía potencial al modificar los enlaces entre las partículas en las transformaciones físico-químicas de la materia (cambios de estado y reacciones químicas). Para ello se proponen las actividades de aplicación cualitativa (A.36 y A.37) que permiten una discusión en la clase sobre la naturaleza del calor que ayudará a su comprensión. Finalmente, en A.38, se incide en el significado estadístico de la temperatura para completar la diferenciación entre esta magnitud y el calor que había sido establecida a nivel fenomenológico solamente.

5. EXTENSION DEL PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA ENERGIA (Opcional)

La concepción del calor como una forma de trabajo submicroscópico realizado sobre el conjunto de partículas (átomos o moléculas) de un sistema, que por su compleja estructura no podemos simplificar como el producto de la fuerza aplicada por el desplazamiento, nos permite integrar la ciencia del calor en la mecánica que estamos estudiando. Habrá, pues, que revisar el principio de conservación de la energía estudiado en el capítulo 8º con el fin de ampliar su aplicación a fenómenos, donde además de considerar el trabajo exterior hecho por o sobre el sistema se tenga en cuenta el calor comunicado al o cedido por el sistema.

- A.39. Si el calor -al igual que el trabajo- es energía en tránsito debemos replantearnos el principio de conservación de la energía, ya que en éste se debe incluir el calor generado por las fuerzas de rozamiento o el transmitido por diferencias térmicas. ¿Cómo replantearías este principio?
- A.40. Un coche de 800 kg de masa baja una pendiente de 20 m de desnivel con el motor parado. Inicia la pendiente con una velocidad de 36 km/h y la termina con otra de 54 km/h. Calcula la cantidad máxima de calor producido por los frenos durante el descenso.

Comentario A.39 y A.40

Esta integración del calor en la mecánica tiene como consecuencia la extensión del principio de conservación de la energía al incluir los sumando correspondientes al calor generado por las fuerzas de rozamiento o al calor suministrado por el exterior al sistema (similar al trabajo exterior). Aunque existe, en este último caso, el problema secundario de los signos, solamente se pretende plantear cualitativamente para llegar a justificar la expresión:

$$W_{ext} + Q = \Delta E_c + \Delta E_p$$

con lo que quedará solucionada la cuestión en este primer nivel de estudio. En la A.40 se aplica a una transformación sencilla de caída libre en un sistema aislado con rozamiento ($W_{ext} = 0$).

6. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.41. Se tira verticalmente hacia arriba una piedra. Determinar el calor máximo que puede absorber la piedra al pararse en el suelo.
- A.42. A lo largo de este tema hemos visto ejemplos de producción de calor a partir de trabajo. ¿Podrías poner ejemplos en los que el calor se convierte en trabajo?
- A.43. ¿Qué importancia tiene para nuestra sociedad la producción de trabajo a partir del calor?

LA INTERACCION ELECTROMAGNETICA

Indice

1. Electrostática
 - 1.1. Electrificación por frotamiento. Cargas eléctricas.
 - 1.2. Estudio cuantitativo de la interacción eléctrica: Ley de Coulomb.
 - 1.3. El campo eléctrico.
 - 1.4. Estudio energético. Concepto de potencial eléctrico.
2. Corriente eléctrica.
 - 2.1. Intensidad de corriente.
 - 2.2. Factores de los que depende la intensidad de corriente. Ley de Ohm.
 - 2.3. Resistencia. Variables de que depende.
 - 2.4. Asociación de conductores.
 - 2.5. Efectos energéticos de la corriente.
 - 2.6. Generador de corriente continua.
3. Electromagnetismo.
 - 3.1. Magnetismo natural.
 - 3.2. Fenómenos eléctricos y magnéticos.
 - 3.3. Campos magnéticos creados por corrientes.
 - 3.4. Corrientes creadas por campos magnéticos.
4. Síntesis electromagnética.
5. Actividades complementarias.

En este capítulo iniciaremos el estudio de una nueva forma de interacción llamada interacción electromagnética. Hasta ahora, hemos visto que todos los cuerpos, por el hecho de tener masa, se atraen y a esta interacción la llamamos interacción gravitatoria. Otras fuerzas como las existentes entre cargas eléctricas o entre imanes así como las de rozamiento, choques entre cuerpos etc., están relacionadas con otro tipo de interacción, distinto de la gravitatoria, que llamaremos interacción electromagnética.

La electricidad constituye un nuevo aspecto del comportamiento de la materia. Al profundizar en la misma, llegaremos a establecer las leyes que rigen la corriente eléctrica, así como iniciaremos el estudio de la interacción entre cargas en movimiento, esbozando la relación existente entre los fenómenos eléctricos y magnéticos.

A.1. ¿Qué entiendes por electricidad?. Pon ejemplos de fenómenos y de instrumentos conocidos que tengan un fundamento eléctrico.

Comentarios A.1.

Al propio tiempo que se manifiestan las concepciones que tienen los alumnos sobre la palabra «electricidad» que pueden ser muy diversas (pueden ser categorizadas con los sinónimos de carga o de corriente) y sobre las que no se ha realizado mucha investigación (Carrascosa, 1985), conviene que el profesor «estratifique» el problema del estudio de la electricidad en dos niveles: según que las cargas estén en reposo (electrostática) o que exista movimiento continuo o no de cargas (electrocinética). Se justifica así la entrada al estudio del caso más sencillo -el primero- y se polarizará la atención hacia los fenómenos de triboelectrificación frecuentemente observados.

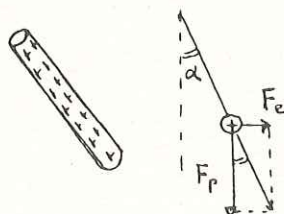
1. ELECTROSTÁTICA

Todos hemos observado como al peinarnos en un día seco, nuestros cabellos resultan difícilmente dominables, separándose unos de otros, decimos entonces que se han «electrizado». Si aproximamos el peine a pequeños trozos de papel, éstos son atraídos por el mismo.

- A.2. Proponer algún experimento que nos permita saber si un material presenta propiedades eléctricas.
- A.3. Los pequeños trozos de papel detectan si algo está o no electrizado (más adelante interpretaremos el porqué). Diseña otros instrumentos sencillos y suficientemente sensibles para detectar las pequeñas fuerzas eléctricas y móntalos.
- A.4. Diseñar un experimento para comprobar si los objetos electrizados lo están del mismo tipo de electricidad y realizarlo.
- A.5. Proponer una interpretación a la existencia de atracciones y repulsiones eléctricas entre los materiales electrizados. ¿Cuándo se atraen y cuándo se repelen?
- A.6. Explicar las observaciones de la A.4 teniendo en cuenta la existencia de dos tipos de carga eléctrica. ¿Por qué siempre un material eléctrico atrae a materiales ligeros (trocitos de papel, péndulo...) que no lo están?
- A.7. Suponte que el péndulo electrizado está siendo atraído o repelido por un material electrizado. Dibuja ambas situaciones de equilibrio y las fuerzas que actúan sobre la bolita del péndulo. ¿Cómo podríamos medir la fuerza atractiva o repulsiva que actúa sobre la bolita cargada?

Comentarios de A.2 a A.7

Con este grupo de actividades se pretende demostrar la existencia de materiales eléctricos y no eléctricos, así como la presencia de dos tipos de cargas eléctricas en los primeros, que pueden interaccionar, llegando incluso a poder medirse estas fuerzas eléctricas. En efecto, se reproducen en la clase fenómenos cotidianos de electrización (A.2) proporcionándoles diferentes materiales a los alumnos (barras de vidrio, de plástico, metálicas...). Posteriormente se introduce una actividad de diseño para perfeccionar los resultados de esta clasificación (A.3) y ya con el nuevo instrumento dirigir la atención a una segunda clasificación de los materiales eléctricos según el tipo de carga (A.4). Presentados los dos tipos de cargas se trata ahora de interpretar las atracciones y repulsiones de los cuerpos cargados (A.5), así como la más difícil predicción de por qué tanto unos como otros atraen a los cuerpos ligeros (A.6). Las dificultades que puedan presentarse para visualizar las fuerzas de repulsión con un simple péndulo y materiales electrizados pueden subsanarse si se posee en el laboratorio un generador de Van de Graaf cargado, con el que se pueden tocar los pequeños péndulos. Finalmente, se debe hacer hincapié mediante dibujos en las fuerzas que participan en las interacciones eléctricas, fuerzas como en dinámica y proponer algún ejemplo en el que se pueda llegar a diseñar la medida (relativa o no) de la fuerza atractiva o repulsiva que actúa sobre un péndulo sometido a una de estas interacciones (A.7). Está claro que existe el obstáculo matemático de la razón goniométrica dado que $F = F \operatorname{tg} \alpha$ como se ve en la figura adjunta, pero puede resolverse cualitativamente (para ángulos pequeños) por la separación relativa de la esferita respecto a la posición inicial. Es decir, si la separación es el doble es fácil suponer que la fuerza ejercida será, aproximadamente, el doble. Aquí puede indicarse que más adelante (apartado 1.2.) se profundizará en este aspecto dinámico, y que antes queda como problema a abordar la interpretación de la electrización de los metales.



- A.8. En la A.2 hemos clasificado los distintos materiales en eléctricos (electrizable por frotamiento) y no eléctricos (no parecen electrizarse) que resultan ser los metales. ¿Consideras que los metales son diferentes eléctricamente de los demás materiales? De no ser así, ¿cómo lo interpretarías? Diseña un experimento que permita contrastar tus ideas.

A.9. Establecer algún criterio que permita otra clasificación de los materiales bajo el nuevo punto de vista.

En resumen: todos los materiales son electrificables por frotamiento. En general los cuerpos no manifiestan sus propiedades eléctricas porque poseen igual cantidad de carga eléctrica positiva como negativa. Al frotar un material con otro, las fuerzas de rozamiento separan las cargas quedando un material cargado con un exceso de carga positiva y otro con un exceso de carga negativa (Fig. 1).

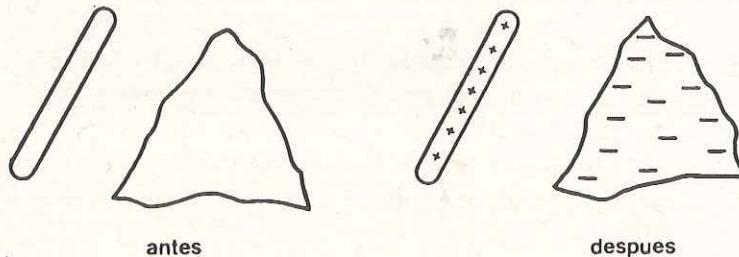


Figura 1

Los cuerpos cargados con cargas del mismo signo se repelen y los cargados con cargas de distinto signo se atraen (fig. 2)



Figura 2

Hemos visto cómo las cargas generadas en los metales gozan de libertad de movimiento (pasando a través de nuestro cuerpo, también conductor, a tierra), es decir son **conductores**. Esto ha permitido la construcción de un nuevo instrumento para la detección y medida cualitativa de cargas eléctricas, llamado **electroscopio**. Un «electroscopio», consta de dos láminas metálicas muy finas y flexibles unidas a una barra metálica y aisladas del exterior, por lo general, en el interior de una botella de vidrio (ver fig.3)

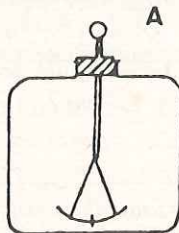


Figura 3

A.10. Predecir lo que ocurrirá en un electroscopio, cuando:

- Aproximemos un material electrificado a la bola A sin tocarla; ¿y cuando lo alejemos?
- Tocamos con el material electrificado el metal A, y después lo alejamos.
- Después de tocar el electroscopio con el plástico electrificado, lo tocamos con el vidrio electrificado; ¿qué ocurrirá?

Después de las previsiones lleva a cabo la experiencia para contrastarlas.

A.11. ¿Podría servirnos el electroscopio para realizar medidas cuantitativas de la cantidad de electrificación (carga eléctrica que posee un material) Diseña un electrómetro.

A.12. Suponte un «sistema» de dos materiales descargados, que no presenta propiedades eléctricas. Si después de frotar uno con otro, ambos quedan electrificados, ¿qué es de prever ocurra con la cantidad de carga eléctrica adquirida por uno y por otro? ¿Cómo lo comprobarías?

Comentarios de A.10 a A.12

La A.10 es una actividad de globalización donde se pondrá a prueba la aplicación de los conocimientos adquiridos hasta aquí por los alumnos, dado que tienen que emitir suposiciones sobre el comportamiento

del electroscopio ante varias acciones y posteriormente verificarlas mediante la realización de aquellas experiencias. En la A.11 se propone una medida cuasincuantitativa de las cargas eléctricas para que, posteriormente, puedan llegar con la A.12 a enunciar y establecer una posible forma de comprobar el principio de conservación de las cargas eléctricas en estos fenómenos de triboelectrización.

1.2. Estudio cuantitativo de la interacción eléctrica. Ley de Coulomb.

Hasta ahora hemos visto que, cuerpos cargados con cargas del mismo signo se repelen, y, los cargados con cargas de distinto signo se atraen. A continuación vamos a estudiar de forma cuantitativa de qué dependerán estas fuerzas llegando a la expresión que lleva el nombre de Ley de Coulomb.

A.13. Tenemos dos pequeños cuerpos electrizados con cargas del mismo signo, pero uno con doble carga eléctrica que el otro. Teniendo en cuenta el principio de acción y reacción (estudiado en Dinámica) dibuja las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo.

A.14. Dos pequeños cuerpos electrizados se están atrayendo (o repeliendo), ¿de qué factores depende la fuerza con que lo hacen? Emite hipótesis y diseña una o varias experiencias que te permitan contrastarlas.

A.15. Suponte que han llevado a cabo las experiencias anteriores y los resultados han sido:

Variando la distancia entre las cargas y manteniendo q_1 y q_2 constantes:

r/m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
F/N	90	22	10	5.6	3.6

Variando las cargas de ambos cuerpos. Primero variando q_1 y manteniendo q_2 y la distancia constantes:

q /u.a.	1	0.5	0.25	0.12	0.06
F/N	90	45	22.5	11.25	5.6

Lo mismo ocurre variando q_2 y manteniendo constantes q_1 y la distancia. Interpretar los resultados parciales obtenidos y encontrar una única expresión que los sintetice. ¿De qué dependerá la constante de proporcionalidad K de la expresión anterior?

A.16. Indicar cómo se puede obtener el valor de la constante K, (Para el vacío, dicha constante resulta ser $9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$, siendo para el aire prácticamente el mismo).

Comentarios de A.13 a A.16

Se inicia el planteamiento de la Ley de Coulomb con una aproximación cualitativa a la identificación de las fuerzas que actúan en una interacción eléctrica sencilla (A.13) y en la que, mediante un dibujo, puede constatar que se pone nuevamente en cuestión el principio de acción y reacción por los alumnos. En efecto, puede comprobarse que, a parte de existir la concepción de que la fuerza ejercida por un cuerpo lo hace sobre el mismo, frecuentemente se adjudica al cuerpo de mayor carga una mayor fuerza que actúa sobre el de menor carga.

Clarificados estos problemas se entra en la fase de emisión de hipótesis (A.14), donde los alumnos suelen indicar que la fuerza depende de la distancia y de lo cargados que estén los cuerpos electrizados. La dependencia del «medio» en el que tiene lugar la interacción no suele aparecer por lo que el profesor podrá introducirla como otra hipótesis más. Es conveniente que las hipótesis se concreten especificando la «forma» de esta dependencia de un modo cualitativo.

Más complicado es el diseño experimental pues aparece una función (F) que depende de varias variables (q , q y r) y en estos casos, al igual que en otros que han surgido anteriormente, deben controlarse dos variables para contrastar una correlación entre la función y la tercera variable. El diseño implica, por una parte, la medida relativa de las cargas (¿cómo tener el doble, la mitad o la cuarta parte de carga que otra dada?), problema que resolvió ingeniosamente Coulomb (Beltran, Ed. Anaya 1982) y por otra la medida de las fuerzas. Esta última parte puede resolverse indirectamente mediante péndulos electrostáticos como se vio en A.7. No obstante, en A.15 se han simulado un conjunto de resultados que pueden servir para el tratamiento cuantitativo del problema.

En la interpretación de resultados se puede llegar a establecer que $F = K q_1 q_2 / r^2$, y que la constante K dependerá del medio en el que tenga lugar la interacción como podrá comprobarse mediante un experimento. El problema de la determinación de K que se plantea en A.16 requiere la introducción de la unidad de carga eléctrica, el coulomb, aunque su definición se posterga a cursos más avanzados.

A.17. Dos cargas de $q_1 = 10^{-4}\text{C}$ y $q_2 = 10^{-3}\text{C}$ se encuentran en el vacío a una distancia de 30 cm. ¿Con qué fuerza interaccionan? ¿y si se encuentran a 2 m de distancia?
Efectúa los cálculos cuando la carga q vale -10^{-3}C y compara los resultados con los anteriores.

A.18. Determinar la fuerza resultante que actúa sobre $q_3 = 10^{-5}\text{C}$, si $q_1 = 10^{-4}\text{C}$ y $q_2 = -10^{-3}\text{C}$ (fig. 4)

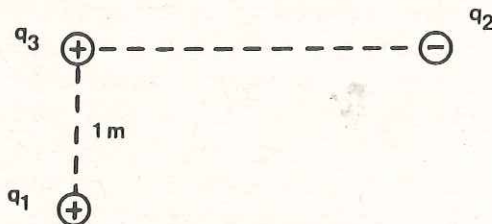


Figura 4

A.19. Tenemos dos cargas q_1 y q_2 situadas en el vacío, ¿dónde debemos colocar otra carga q_3 para que la fuerza resultante sobre la misma sea cero? Discutir los diferentes casos posibles.

Comentarios de A.17 a A.19

Se introducen estas tres actividades como ejercicios de consolidación de la Ley de Coulomb aumentando paulatinamente de complejidad. En efecto, la A.18 plantea un caso más complicado que A.17 ya que hay 3 cargas no alineadas y, en consecuencia, se practica la suma de las fuerzas como vectores. Previamente debe quedar explícito en el análisis del problema la independencia de las interacciones, es decir, que actúan como si no estuvieran las demás. La A.19 más próxima a un problema como investigación requiere la determinación de las distintas posibilidades y exige las estrategias oportunas de resolución del mismo y el manejo de la suma de vectores, de ahí su mayor complejidad.

1.3. El campo eléctrico.

Hasta aquí hemos visto que las cargas q_1 y q_2 interaccionan dependiendo la intensidad de la interacción (fuerza) de la distancia entre ellas y del valor de las mismas. Vamos ahora a tratar de buscar una explicación a esta interacción a distancia.

- A.20. ¿Cómo interpretarías el hecho de que la carga q_2 (al ser atraída o repelida) «note» o «conozca» la existencia de una carga q_1 que se encuentra a una determinada distancia? (Compara esta situación con el hecho de que la Tierra nos atraiga (peso) tanto cuando estamos en su superficie como cuando estamos a una determinada altura).
- A.21. Introducción por el profesor del concepto de *campo eléctrico*.
- A.22. Si alrededor de un material electrizado, o, en general de una carga eléctrica decimos que hay un campo eléctrico, ¿cómo podríamos definir la intensidad del campo eléctrico existente en un punto?
- A.23. Un pequeño péndulo cargado con 10^{-4}C se ve sometido a una fuerza de 0.4 N (que lo hace separarse de la posición de equilibrio). ¿Cuál es el valor de la intensidad de campo en el punto ocupado por el péndulo? Haz dibujos.
- A.24. En un punto dado el campo eléctrico resulta ser de 200 N/C. Si en él situamos una carga de 0.03 C ¿a qué fuerza se verá sometida la carga? ¿y si la carga es de -0.03C ? Hacer dibujos.
- A.25. Ya hemos visto en A.22 que la intensidad de campo eléctrico E no dependía de la carga testigo introducida en el campo, ¿de qué crees que dependerá el valor de E ?
- A.26. Teniendo en cuenta la Ley de Coulomb y la definición de campo eléctrico, deduce cuanto debe valer el campo creado por una carga puntual q en un punto que diste r de q ¿son ciertas las hipótesis emitidas en A.25?. Si hiciéramos la gráfica E frente a r ¿cómo sería?
- A.27. Determinar la intensidad de campo eléctrico creado por una carga de 10^{-8}C en los puntos que distan de q 10 cm, 30 cm, 50 cm y 1 m. Hacer la gráfica E frente a r .

A.28. Una forma de representar o de visualizar un campo eléctrico es mediante las llamadas «líneas de fuerza» o «líneas de campo» que son unas líneas trazadas de forma que el vector campo eléctrico sea tangente (o coincida) con las mismas.

¿Cómo serán las líneas del campo eléctrico existente alrededor de una carga puntual positiva? (Dibujarlas) ¿y si es negativa?

¿Cómo se distribuirán estas líneas del campo cuando las cargas que lo crean sean una positiva y otra negativa separadas una determinada distancia?

A.29. Utilizando las transparencias de electrostática y el generador de van-der-Graaf, «visualizar» las líneas del campo creado por diferentes distribuciones de cargas, tales como:

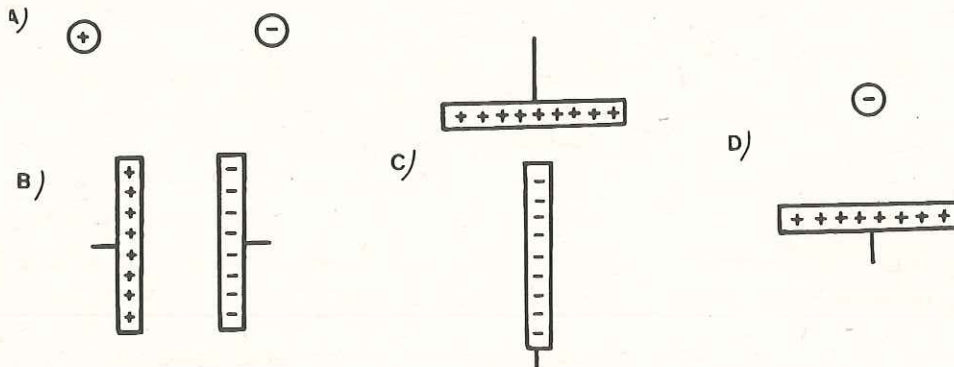


Figura 5

Comentarios al apartado 1.3.

En todo este apartado se trata de introducir y clarificar uno de los conceptos más abstractos de los estudiados hasta ahora: el del campo eléctrico. En A.20 se plantea el problema de la necesidad de una «nueva» construcción científica que interprete una serie de fenómenos. Para que los alumnos lleguen a entender lo que significa esta nueva construcción llamada campo eléctrico es importante utilizar la analogía con el campo gravitatorio terrestre, para ellos mucho más evidente en la vida cotidiana, ya que aceptan como tal el lugar del espacio alrededor de la Tierra, en donde los cuerpos se ven sometidos a fuerzas, es decir, pesan.

En la A.21, el profesor, al clarificar el concepto de campo eléctrico, puede ayudarse del Generador de Van-der-Graaf cargado, alrededor del cual se sitúan varios péndulos electrostáticos a diferentes distancias, pues resulta muy didáctico que los alumnos vean como dichos péndulos «notan» el campo creado por el generador. Además pueden observar cualitativamente que este «campo» disminuye con la distancia.

En la A.22 se plantea la necesidad de introducir una magnitud que mida la intensidad del campo eléctrico en cualquier punto del espacio que rodea a un cuerpo electrizado. Aquí los alumnos suelen ver la necesidad de una carga «testigo», aunque ya es más difícil que lleguen a definir la intensidad del campo eléctrico en un punto como $E = F/q'$ (pues, no es fácil que comprendan que la nueva magnitud debe ser independiente de la «cantidad» de carga testigo). Así pues, la intervención del profesor puede ser necesaria, hablando además de la dirección y sentido de E .

Se pide a continuación (en A.23 y A.24) unas aplicaciones operativas de la nueva definición, en las que se insiste en los dibujos, pues debe quedar claro el carácter vectorial de la nueva magnitud.

El estudio de la dependencia de la intensidad de campo eléctrico E de otras magnitudes, se desglosa en tres actividades, una de emisión de hipótesis (A.25), posterior deducción matemática coherente con la teoría manejada (Ley de Coulomb) (A.26), y una tercera de representación gráfica y concreta de un campo eléctrico (A.27). En la A.25, es muy frecuente que los alumnos confundan la dependencia de E , con la definición operativa dada anteriormente (dicen que E dependerá de F y de q'), pero, insistiendo en las observaciones cualitativas de la A.21 con generador de Van-der-Graaf, pueden llegar a establecer que la intensidad de campo en un punto P va a depender de la distancia de ese punto a la carga, y de la cantidad de carga q creadora del campo.

Por último, la visualización cualitativa del campo eléctrico mediante las líneas de fuerza, se plantea en la A.28 (en donde se da además la definición de línea de fuerza), pidiendo que se representen en los casos más sencillos (carga creadora positiva y, después otra negativa) complicándose posteriormente en distintas distribuciones electrostáticas (dos cargas de signo opuesto, una carga y una distribución extensa de signo

opuesto, dos distribuciones extensas en distintas posiciones...). En todos estos casos son de gran utilidad las transparencias de electrostática, con las que es posible «ver» las líneas de fuerza de distintas distribuciones de cargas, utilizando el Generador de van-der-Graaf.

1.4. Estudio energético del campo eléctrico. Concepto de potencial.

Al iniciar el estudio energético del campo eléctrico es importante recordar lo que entendemos por trabajo y por energía potencial de un sistema.

A.30. Los «sistemas» de cargas representados en la figura 6 ¿cómo evolucionan espontáneamente? ¿poseen energía? ¿de qué tipo?

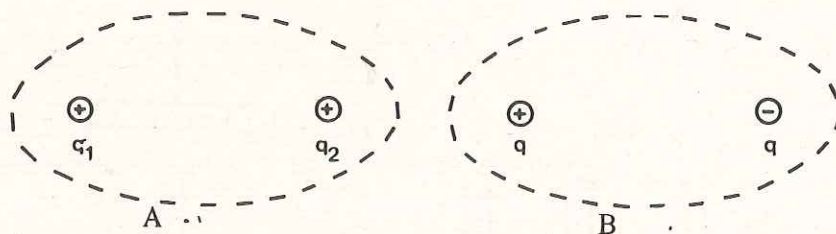


Figura 6

Comentarios de A.30

El concepto de potencial eléctrico introducido en todo este apartado, y totalmente necesario para luego estudiar la electrocinética, supone un grado de abstracción aún mayor que el requerido para la introducción del campo eléctrico. Frente a distintas posibles introducciones de la electrocinética, descritas por Johsua 1986, somos partidarios de hacerlo utilizando el trabajo de las fuerzas eléctricas, pues implica una nueva relación con lo ya estudiado en Mecánica, haciendo ver la enorme potencialidad de la teoría allí establecida, válida para todos los tipos de fuerzas o campos.

En la A.30 se presenta la situación de sistemas de cargas que poseen energía (al ser capaces de realizar trabajo moviéndose), situación análoga a la que presentábamos en el tema de trabajo y energía con los sistemas de masas y las fuerzas gravitatorias. Aquí pues aparece de nuevo la idea de energía potenciales, en este caso, eléctrica.

A.31. Consideremos el sistema representado en la figura 7. Si solo puede desplazarse la carga q' realizándose trabajo, diremos que dicha carga posee energía potencial eléctrica (que, en realidad, es del sistema). ¿Cómo definirías una magnitud llamada potencial eléctrico en el punto ocupado por q' que nos mida esa E_p eléctrica y que sea independiente de la carga testigo? ¿cuál será su unidad en el SI?

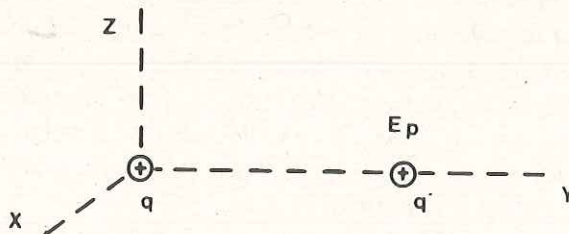


Figura 7

Comentarios de A.31

Se pretende que los alumnos vean la necesidad de definir una magnitud escalar que relacionada con esa E independiente de la carga testigo q' . Es decir se trata de llegar a la definición del potencial eléctrico en un punto como la energía potencial por unidad de carga testigo situada en aquel $V = E/q'$. Por último es interesante que se planteen de manera significativa la definición del voltio y que sean capaces de establecer dicha unidad.

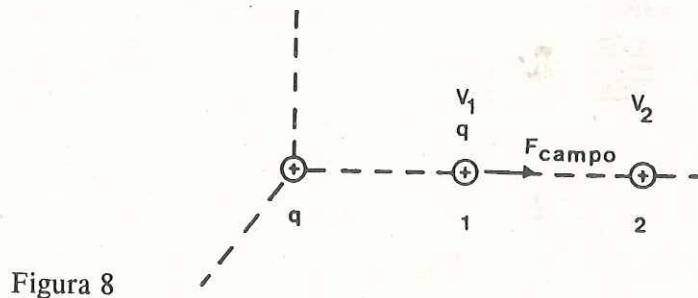
A.32. Si la carga q crea potenciales eléctricos a su alrededor ¿cómo crees que variarán estos potenciales a medida que nos alejamos de q ? ¿Qué ocurrirá si q es negativa?

Comentarios de A.32.

Con esta actividad solo se pretende el establecer que, una carga positiva crea a su alrededor potenciales positivos, y que éstos disminuyen a medida que nos alejamos de q , y viceversa, que las cargas

negativas crean potenciales negativos, los cuales son cada vez menos negativos a medida que nos alejamos de q .

- A.33. Cuando las fuerzas eléctricas realizan trabajo ¿qué le ocurre a la energía potencial del sistema?. Si la carga q' se traslada del punto 1 al 2 de la figura 8 ¿cuánto valdrá el trabajo realizado por las fuerzas eléctricas teniendo en cuenta que el potencial en el punto 1 es V_1 , y el potencial en el punto 2 es V_2 .



Comentarios de A.33.

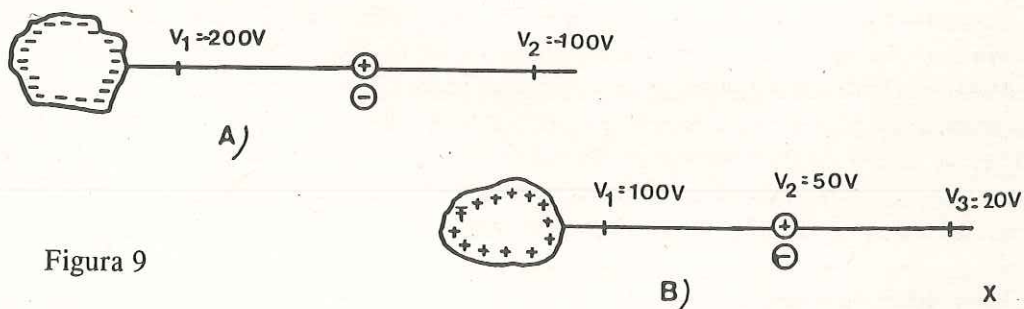
Relacionando el trabajo realizado por las fuerzas del campo con la disminución de la energía potencial del sistema, fácilmente se puede llegar a $W_{int} = \Delta E_p = -q'(V_2 - V_1)$ expresión que luego será muy útil en el estudio de la corriente eléctrica.

- A.34. ¿Qué tendríamos que hacer para que la carga q' pase del punto 2 al 1?

Comentarios de A.34.

Por último, cabe plantear el paso de q' de un punto a otro, en contra de las fuerzas del campo, situación para la que es necesaria la actuación de una fuerza exterior realizando trabajo. En esta transformación se supone que al trasladarse q' no varía su energía cinética.

- A.35. En un campo eléctrico ¿Cuál es el sentido del movimiento espontáneo de las cargas eléctricas positivas, teniendo en cuenta los potenciales existentes en los distintos puntos? ¿y el de las cargas negativas? Ayúdate de los siguientes esquemas (fig. 9):



Comentarios de A.35.

Se finaliza este apartado incidiendo, al igual que en la actividad anterior, de forma cualitativa en la relación existente entre el movimiento espontáneo de las cargas en un campo eléctrico y la variación de potencial eléctrico. Ello, como ya se indicó, nos será de gran utilidad para justificar energéticamente la corriente eléctrica.

2. LA CORRIENTE ELECTRICA

- A.1. ¿Qué entiendes por corriente eléctrica?

Después de haber estudiado en el apartado anterior las acciones entre cargas, el campo y el potencial, a continuación vamos a considerar el movimiento de cargas en el interior de un conductor.

- A.2. Recuerda lo que entendemos por conductor y cuál es la diferencia entre un conductor y un aislante. Nombra algunos conductores que conozcas.

Nosotros nos limitaremos a estudiar la corriente eléctrica a través de los conductores metálicos, en donde, las únicas cargas «libres» son los electrones.

A.3. ¿Qué es necesario para que circule corriente eléctrica a través de un conductor?

A.4. Dados los siguientes conductores metálicos, indicar en qué casos circulará corriente y por qué. Señalar en cada caso el sentido de la corriente.

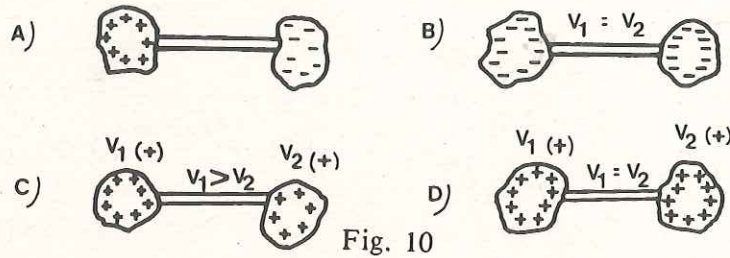


Fig. 10

Comentarios de A.1 a A.4

En este apartado se inicia el planteamiento del estudio de la electrocinética partiendo de los conocimientos electrostáticos que se han tratado anteriormente; éste será pues, el objeto de todo el apartado 2. En la primera actividad (A.1) se trata de explorar las opiniones de los alumnos sobre el concepto cualitativo de corriente eléctrica y, si bien parece asumido como movimiento de cargas eléctricas que se expresará mediante analogías como la del flujo de un fluido, aparecerán otras connotaciones equivocadas que se pueden debatir más adelante. Es pues, una actividad abierta en la que interesa dejar expuestas estas opiniones para profundizar en ellas más adelante.

En relación con el movimiento de cargas se ha planteado la A.2 dada la necesidad de un medio por el cual puedan fluir estas cargas, y por ello, se recuerda la clasificación de materiales que se estudió en A.9 del apartado 1, con el fin de reconocer algunos de los conductores más utilizados (metales) donde las cargas pueden moverse mientras que en los aislantes se encuentran fijas (ligadas a los átomos). No debe olvidarse la presentación de otros tipos de conductores como las disoluciones iónicas (agua salada, protoplasma de nuestras células, etc) que pueden ser utilizadas en este mismo curso.

Ahora bien, a parte del medio, para que circulen las cargas es necesaria la condición esencial que se plantea en A.3: la existencia de un campo eléctrico y, más en concreto, de una diferencia de potencial entre los puntos del circuito por el que pasa corriente. La determinación del sentido de movimiento de las cargas puede deducirse de las conclusiones extraídas en la A.35 del apartado anterior.

Finalmente, en A.4 se procede a la aplicación cualitativa de esta condición en varios casos, si bien se deberá especificar la brevedad de las corrientes hasta igualarse los potenciales de los cuerpos cargados puestos en contacto eléctrico. Es conveniente clarificar que el sentido convencional de la corriente que manejamos será el de los potenciales decrecientes, considerando que son las cargas positivas las que se mueven aunque, en realidad, sean los electrones las cargas móviles. Se ha planteado la cuestión de manera que surjan las dos posibilidades en cuanto al sentido de la corriente.

2.1. Intensidad de corriente

A.5. Introducir una magnitud adecuada para la medida de la cantidad de corriente que atraviesa un conductor. ¿Cuál será su unidad en el SI? Busca en un libro de texto la definición de Amperio.

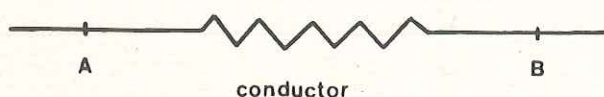
A.6. Por un conductor circula una intensidad de 0.4 A ¿qué cantidad de carga eléctrica atraviesa una sección del mismo en 1 minuto?

- ¿Cuál es la intensidad que circula por un conductor si en 15 s han pasado 0.25 C?

- Por un conductor circula la intensidad de 20 mA ¿qué tiempo será necesario para que circulen 10^{20} electrones? La carga del electrón vale 1.6×10^{-19} C.

A.7. Para medir la intensidad de corriente que circula por un conductor se usa el *amperímetro*, y para medir la diferencia de potencial entre dos puntos del mismo se usa el *voltímetro*. Indicar cómo deben montarse dichos aparatos si deseamos medir la I y la d.d.p. entre los extremos del conductor de la figura 11:

$$V_a > V_b$$



Comentarios al apartado 2.1.

Se inicia este apartado con la introducción de la intensidad de corriente, de fácil comprensión cualitativa entre los alumnos. Se debe insistir en la identificación terminológica que se hace en los textos entre corriente e intensidad de corriente, así como en la diferenciación entre cantidad de carga eléctrica que ha pasado y la intensidad de corriente. También pueden confundir los alumnos esta última magnitud con la intensidad de campo eléctrico que se ha tratado anteriormente. Al mismo tiempo se incide en el significado de la unidad: el amperio.

Como aplicación de esta definición se cuestiona la A.6 que, en realidad contiene tres ejercicios de consolidación, y, finalmente en A.7 se trata de la adquisición de destrezas manipulativas de los instrumentos destinados a la medida del voltaje y de la intensidad de corriente, sin que sea necesario que tengan un claro conocimiento del funcionamiento de los mismo, pero que pueden preparar a los alumnos para posibles diseños en el redescubrimiento de la ley de Ohm que se plantea en el apartado siguiente. Esta última actividad se puede aprovechar para seguir explorando cualitativamente las ideas de los alumnos respecto a atributos del concepto de corriente eléctrica como p.e. si es concebida como flujo estacionario o no de cargas a través de todo el conductor, pues, hay autores (Viennot, 1986) que al investigar estas concepciones han puesto de manifiesto la existencia de varios errores conceptuales, tales como considerar que la corriente pierde «caudal» conforme atraviesa el conductor o que las cargas se consumen en la resistencia (bombilla).

2.2. Factores de los que depende I. Ley de Ohm.

A.8. Por un conductor puede circular más o menos intensidad de corriente ¿de qué factores crees que dependerá la intensidad de corriente que circula por un conductor?

$$I = f(\quad)$$

Diseña la experiencia correspondiente para comprobar las hipótesis emitidas.

A.9. Llevar a cabo la experiencia diseñada en A.8 e interpretar los resultados.

A.10. ¿Cuál será el significado físico de la constante de proporcionalidad? ¿y el de la inversa de dicha constante?

A.11. Haz la misma experiencia con otro conductor (hilo). La constante de proporcionalidad entre I y V ¿es la misma? Razona lo siguiente: ¿qué conductor conduce mejor? ¿cuál opone más «resistencia»? (es conveniente hacer juntas las gráficas de I frente a V de los dos conductores).

A.12. La *resistencia* es pues una característica de cada conductor, siendo su unidad el ohmio Ω . Expresar el significado físico de dicha unidad.

A.13. ¿Cumple una bombilla o una plancha la ley de Ohm? Compruébalo. ¿Cuál es la resistencia de cada uno?

A.14. ¿Cuál será la resistencia del conductor de la figura si el amperímetro señala 25 mA y el voltímetro 18 V.?

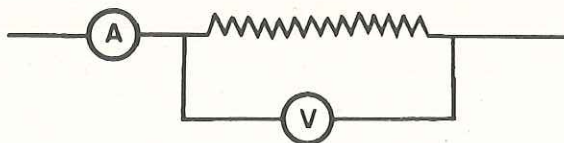


Figura 12

Comentarios al apartado 2.2.

Definida la intensidad de corriente se ha introducido una actividad (A.8) de emisión de hipótesis y de diseño experimental para comprobarlas, lo que conlleva algunas dificultades. En principio, los alumnos suelen contestar que I dependerá del material (naturaleza y variables geométricas) así como de la d.d.p.; por lo que, en cada hilo concreto, la I dependerá de V . En los diseños deben idear montajes que les permitan obtener y medir varios valores de d.d.p., para medir I en cada caso. En general, se alude al montaje de varias pilas en serie para obtener varias d.d.p. Como variante el profesor puede proponer un montaje de

un potenciómetro, donde es importante la visualización de los esquemas en que aparezcan claramente el voltímetro, el amperímetro así como la forma de variar V (en la figura adjunta se ha dibujado un posible esquema).

En A.9 se realiza la experiencia con todos los detalles y problemas técnicos que supone cualquier montaje en el que, también, hay que saber medir correctamente en las escalas de los aparatos.

La A.10 aborda la representación gráfica de I frente a V y su interpretación conlleva asignar al valor de la constante de proporcionalidad o pendiente de la recta el significado de la medida de la mejor o peor conducción de la corriente a través del hilo (conductancia del mismo). Al mismo tiempo, se puede hacer una aproximación cualitativa a la inversa de dicha constante, para darle significado físico al concepto de **Resistencia** al paso de la corriente. En la A.11 se incide en otro caso para iniciar la familiarización y permitir la comparación cuantitativa de dos resistencias. El enunciado de la generalización (ley de Ohm) se ha reservado para la A.10 y, finalmente en las siguientes actividades se aplica, primeramente, a objetos de la vida ordinaria (A.13) y a un esquema de los que se utilizarán frecuentemente (A.14) en este tema.

2.3. Resistencia. Factores de los que depende.

A.15. ¿De qué factores crees que dependerá la resistencia de un conductor? Formula hipótesis.

$$R = f(\quad)$$

Comentarios de A.15

Aquí los alumnos vuelven a señalar que R dependerá de la longitud del hilo, de la sección del mismo y del material, y, es interesante que lleguen a concretar más las hipótesis especificando qué tipo de dependencia creen que será la que existe entre R y L , o entre R y S .

A.16. Diseña experiencias para comprobar cómo varia R con cada uno de los factores indicados. Realízalas y extrae conclusiones.

Comentarios de A.16

Los montajes en este caso serán similares al utilizado en la ley de Ohm. Los alumnos deben concretar cómo van a medir R para cada longitud o sección, y cómo van a variar L y S (si no se les ocurre poner el hilo doble, triple, cuádruple... para variar la sección del mismo, el profesor deberá indicárselo). En la interpretación de resultados, después de hacer las gráficas de R frente a L , R frente a S , y R frente a $1/S$, se debe llegar a establecer la relación: $R = K$ longitud/sección, y posteriormente interpretar el significado de la constante K , «resistividad» o resistencia específica del material.

A.17. Busca en un libro de texto la resistividad del cobre, plata, hierro, nicrom, aluminio, carbón... y da significado físico a estas cantidades. Justifica que los hilos de las instalaciones eléctricas de las casas sean de cobre.

A.18. a) Un hilo conductor de 400 m. de longitud y 0.2 mm^2 de sección está hecho de un material de resistividad 1.6×10^{-8} ohmios.metro, ¿cuál es su resistencia?

b) Un hilo de 80 cm de longitud y de sección 0.1 mm^2 presenta una resistencia de 4 ohmios ¿cuál es la resistividad del material?

A.19. Diseña un aparato en el que se pueda variar la resistencia a voluntad del que lo maneje.

Comentarios de A.17 a A.19

En A.17 se vuelve a insistir en el significado físico de la resistencia eléctrica, al propio tiempo que se incide en la búsqueda de buenos conductores que también sean rentables económicamente. La aplicación al cálculo de la resistencia eléctrica y de la resistividad se realiza en A.18, mientras que en la A.19 se pone a prueba la creatividad del alumno con el diseño de una resistencia variable, una de cuyas soluciones es la conocida resistencia de cursor móvil.

2.4. Asociación de conductores.

Se ha estudiado la resistencia de un conductor intercalado en un circuito eléctrico, vamos ahora a plantear el problema de obtener el valor de la resistencia total cuando existen varias conectadas en el mismo circuito (resistencia equivalente).

- A.20. Si disponemos de tres conductores distintos, uno de resistencia R_1 , otro R_2 y un tercero R_3 y deseamos que circule corriente por todos ellos, ¿de cuántas maneras posibles podemos conectarlos? ¿en qué caso circula por ellos la misma intensidad?, ¿en qué caso están conectados los tres a la misma d.d.p.?
- A.21. Indicar cualitativamente en qué caso será mayor la resistencia equivalente de dos conductores montados:
 a) en serie b) en paralelo
 Teniendo en cuenta la Ley de Ohm, deduce cual será la resistencia equivalente del conjunto de conductores en cada caso.
- A.22. Disponemos de tres resistencias iguales de 20 ohmios, que podemos conectar al circuito de varias formas diferentes. Calcular la resistencia equivalente de todos los casos posibles.
- A.23. ¿Qué marcará cada aparato de medida de la figura 13 si el voltímetro señala 12 V?

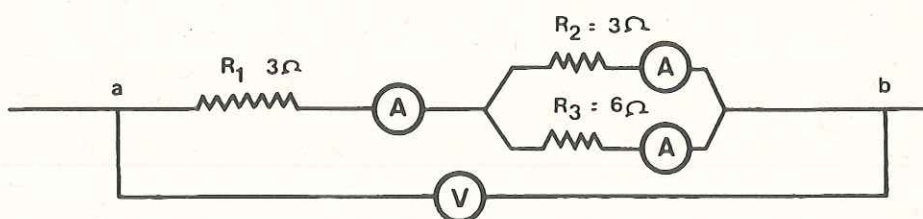


Figura 13

Comentarios al apartado 2.4.

El tratamiento de la asociación de conductores se inicia con la combinación de tres de ellos para que aparezcan todas las posibilidades, fijando la atención en aquellos casos en los que circula por los conductores la misma intensidad (montajes en serie) y en aquellos casos en los que la d.d.p. entre los extremos de los tres conductores son iguales (montajes en paralelo). Se pueden contrastar las opiniones que surjan mediante los montajes adecuados en los que se intercalen amperímetros y voltímetros.

En A.21 se hace una comparación cualitativa de resistencias equivalentes en serie y en paralelo que, posteriormente, se justificará teóricamente mediante la aplicación de la ley de Ohm. Esta actividad supone el planteamiento y resolución de un problema abstracto y resulta de bastante complejidad para el alumno, ya que tienen que idear las oportunas estrategias para llegar a las conclusiones esperadas. De ahí que esta actividad necesite mayor intervención del profesor.

En A.22 y A.23 se presentan casos concretos de lo visto antes teóricamente en los que se aplicarán los conocimientos adquiridos. Es frecuente que se presenten en el alumnado los errores matemáticos correspondientes a las operaciones con fracciones. Conviene incidir con más ejercicios semejantes al de la A.23, pues sintetizan bastante bien lo visto hasta ahora en el estudio de la corriente.

2.5. Efectos energéticos de la corriente.

Cuando la corriente eléctrica circula entre dos puntos de un conductor debido a la existencia de una d.d.p., esta corriente realiza un trabajo eléctrico a expensas de la energía potencial eléctrica del sistema. Así pues, en este apartado abordaremos el problema de la energía consumida al pasar la corriente por un conductor.

- A.24. La realización de trabajo por la corriente eléctrica puede manifestarse de varias maneras según pase por un motor, por una celda electrolítica o por la resistencia de una estufa (fig. 14) Explicar cualitativamente en qué se utiliza el trabajo hecho por la corriente en cada uno de los casos anteriores.

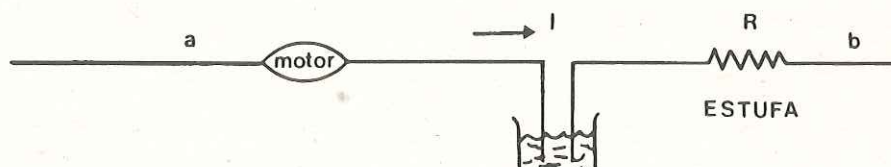


Figura 14

- A.25. Considerar el caso de una carga q que pasa por un conductor (fig. 15) de un punto a cuyo potencial es V_a , a otro b de potencial V_b . ¿Cuál será el valor del trabajo realizado por las fuerzas del campo eléctrico?

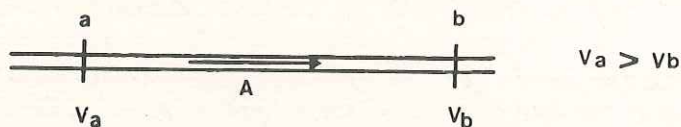


Fig. 15

- A.26. En los circuitos eléctricos se puede medir fácilmente la intensidad de corriente que circula, no ocurriendo lo mismo con la carga eléctrica. Deducir una expresión que nos de el trabajo eléctrico en función de la intensidad de corriente I que circula por el conductor.
- A.27. En el caso en que la corriente eléctrica pase por un conductor que sea solo una resistencia (que cumpla la ley de Ohm), ¿en qué se transformará la energía suministrada por la corriente eléctrica y cómo podrá calcularse en función del tiempo t que está pasando la corriente? ¿y la potencia?
- A.28. Una plancha eléctrica lleva la siguiente inscripción: 1000 W, 220 V, que indica su potencia al conectarla a 220 V. Se pide: a) la intensidad que circula; b) su resistencia; c) la intensidad que circularía si la conectásemos a 125 V, ¿cuál sería entonces su potencia?; d) el trabajo que realiza (energía consumida) cuando está conectada durante 10 horas a una d.d.p. de 220 V. (en J y en kW.h); e) el coste de la energía eléctrica consumida si el precio del kW.h es de 8.9 ptas.
- A.29. Un calentador eléctrico ha elevado la temperatura de 50 litros de agua 40 C en 1 hora y media al conectarlo a una d.d.p. de 220 V. Suponiendo que no hay pérdidas de calor, se pide: a) ¿cuál es su potencia? ¿y su resistencia?.
- A.30. Una bombilla lleva las inscripciones 100 W, 220 V. a) ¿Cuál es su resistencia? b) ¿Qué energía consume al estar conectada durante 12 horas?
- A.31. Un electricista arregla una estufa eléctrica cortando el trozo de resistencia en malas condiciones y empalmando los fragmentos restantes, ¿calentará más o menos que antes?

Comentarios al apartado 2.5.

En este apartado se inicia el problema de la energía consumida al pasar corriente por un conductor en el que se han intercalado varios elementos para la discusión cualitativa de lo que sucede en cada uno de ellos (A.24). De estos requiere aclaración por parte del profesor el denominado en cursos anteriores «efecto químico de la corriente» que muchos alumnos desconocen o confunden con el funcionamiento de un termo (Carbonell y Furió, 1987). En la A.25 se ha elegido el elemento más sencillo (conductor) para plantear la definición operativa del trabajo realizado por las fuerzas del campo eléctrico que ya habrá sido comentado en el apartado 1.4(A.33), si bien en un contexto diferente, y llegar a la expresión $W = -q(V_b - V_a) = q(V_a - V_b)$ que puede ser traducida fácilmente por los alumnos en $W = I V_{ab} t$, al utilizar la relación entre I y q .

A partir de aquí (A.24) el tratamiento energético se limita solo al efecto Joule, donde es obvio que la energía se disipa en forma de calor y al aplicar la ley de Ohm se deducen las expresiones conocidas de $W = P R t = V^2 t/R$, así como la de la potencia $P = P R$. Como ejercicios de aplicación relacionados con objetos ordinarios (bombilla, plancha, calentador eléctrico de agua...) se han planteado las A.28, A.29 y A.30 donde interesa también relativizar el concepto de potencia y hacer ver la utilidad de estos conceptos físicos.

Finalmente en A.31 se ha planteado una actividad problemática pues las respuesta general de los alumnos se inclina por relacionar directamente el mayor o menor calor producido con la mayor o menor resistencia del conductor, volviendo a plantearse la discusión sobre la utilización adecuada de las diferentes expresiones del trabajo eléctrico (al permanecer V del enchufe constante es más adecuado usar $W = V^2 t/R$ para razonamientos cualitativos, aunque naturalmente puede utilizarse también $W = P R t$ sabiendo que, al variar R , hay que recalcular I , llegando a la misma conclusión en ambos casos).

2.6. Generador de corriente continua

Hasta ahora hemos estudiado la corriente continua sin plantearnos cómo **mantenerla** constante durante un cierto tiempo.

A.32. En A.4 hemos tratado varios casos en los que circula corriente de un conductor a otro, ¿crees que circulará corriente indefinidamente? Razona la respuesta.

A.33. ¿Cuál será el papel de un «generador» en un circuito por el que circula una corriente? Poner ejemplos de generadores que se conozcan y comentar su funcionamiento.

A.34. Introducción por el profesor del concepto de f.e.m. de un generador.

A.35. Tenemos un circuito con un generador y una resistencia. Dibujar un esquema del mismo. Especificar en qué partes del mismo se suministra energía al circuito y en qué partes se consume.

Comentarios al apartado 2.6.

Aunque en los apartados anteriores se ha partido del supuesto que siempre se tenía una corriente continua, es ahora cuando se estudia el generador como elemento fundamental del circuito para que I se mantenga constante.

En A.32 y en A.33 se plantea el problema de cómo mantener constante un paso de cargas, y, por tanto una d.d.p., mediante la inserción en un circuito de un generador (palabra que debe relacionarse con las pilas), por lo que aparece el fundamento de dicho generador como el «aparato» capaz de «pasar los electrones de potenciales no se igualen. Para esto, es necesario pues realizar un trabajo exterior, y, por tanto suministrar al circuito energía (que la pila gastará a medida que funcione).

Posteriormente se introduce por el profesor el concepto de fuerza electromotriz, denominación del siglo pasado que ha perdurado y que es confundida con una «fuerza que hace el generador», debiendo aclararse entonces su carácter de una energía suministrada al circuito por unidad de carga que circula.

Por último, en A.35 se pide dibujar un circuito muy simple, y razonar aspectos energéticos relacionados con el mismo. Al dibujar dicho circuito, se debe volver a insistir en que no se consume corriente en la resistencia, sino energía eléctrica, pues volverá a aparecer el error conceptual de que la corriente pierde «caudal» al pasar a través de la resistencia (recordar comentarios de la A.7)

3. ELECTROMAGNETISMO

Además de las interacciones entre cargas eléctricas en reposo (que hemos estudiado en electrostática), desde muy antiguo se conoce otro tipo de interacción llamada **magnética**.

A.1. ¿Qué es un imán? ¿Cómo investigar el magnetismo para profundizar en su conocimiento?

Comentarios a A.1.

Esta actividad permite conocer cuales son las ideas que tienen los alumnos respecto de los imanes y fácilmente se comprobará que, en general, atribuyen en aquellos la existencia de cargas eléctricas para explicar las interacciones que se producen. Puede plantearse una pequeña investigación que, en definitiva será semejante a lo desarrollado en electrostática y que tratarán de responder a preguntas del tipo: ¿cómo saber si un fragmento de acero está o no imantado? ¿existen o no dos tipos de polos análogamente a lo que sucedía con la electricidad?... que se pueden responder fenomenológicamente, o más conceptuales como ¿qué interpretación se puede dar a las fuerzas entre polos magnéticos?. ES importante esbozar el programa que se va a seguir para que los alumnos estén orientados.

3.1. Magnetismo natural

A.2. Señalar un procedimiento que permita clasificar los materiales según sus propiedades magnéticas.

A.3. ¿Cómo se puede averiguar donde es más intensa la atracción de un imán?

A.4. ¿Qué crees que ocurrirá si fragmentamos un imán?

A.5. Cuando un imán puede girar libremente alrededor de un eje vertical recibe el nombre de **brújula**. Predecir qué ocurrirá cuando se sitúe alguna brújula próxima a un imán, coloca varias a su alrededor y observa si se cumplen las predicciones hechas.

A.6. Una brújula completamente aislada ¿cómo se orienta? ¿qué podemos decir de la Tierra bajo el punto de vista magnético?

A.7. ¿Cómo se pueden interpretar las fuerzas entre polos magnéticos?

En resumen, alrededor de un imán diremos que existe un **campo magnético** cuya intensidad **B** tomará un valor en módulo, dirección y sentido distintos en cada punto.

Las «líneas del campo magnético» podemos reconocerlas por la distribución de las limaduras de hierro alrededor del imán.

A.8. Dibuja las líneas del campo magnético creado por los imanes de la figura 16.

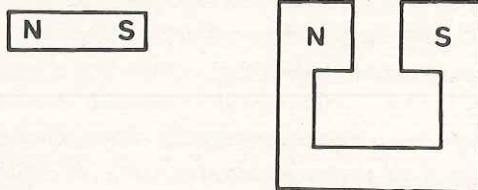


Fig. 16

Comentarios al apartado 3.1.

Las cinco primeras actividades de este apartado se destinan a la fenomenología del magnetismo y las dos últimas a la introducción cualitativa del campo magnético. En efecto, mientras en A.2 se plantea la clasificación de los materiales según sus propiedades magnéticas utilizando pequeños trozos de aquellos (hierro, aluminio, cobre...), en la A.3 se fija la atención en la distribución de las limaduras de hierro con el fin de introducir la idea de «polo magnético». En A.4 se hace patente una diferencia fenomenológica con la electricidad y en A.5 se perfecciona la detección del magnetismo mediante el manejo de la brújula, al mismo tiempo que se plantea el caso del campo magnético terrestre (A.6). Con la A.7 se inicia la construcción científica del campo magnético y su representación simbólica mediante las líneas del campo y como es obvio se deja abierta la profundización al problema para cursos superiores.

3.2. Fenómenos eléctricos y magnéticos

A.9. Plantear algún procedimiento para ver si existe relación entre los imanes y las cargas eléctricas.

Los fenómenos magnéticos trataron de relacionarse con los eléctricos, o mejor, con la corriente eléctrica. La primera experiencia positiva en este aspecto fue la de Orsted.

A.10. Monta un circuito de forma que contenga un hilo largo horizontal (orientado en la dirección nortesur geográficos) por el que circule una corriente eléctrica. Sitúa una brújula bajo y arriba del hilo. ¿Qué se puede deducir de esta experiencia? ¿cómo crees que serán las líneas del campo magnético creado por esta corriente?

A.11. ¿Qué piensas que ocurrirá con las líneas del campo cuando cambiemos el sentido de la corriente? Compruébalo.

A.12. ¿En qué condiciones una carga eléctrica puede crear un campo eléctrico y, a la vez, otro magnético?

Comentarios al apartado 3.2.

La relación entre los fenómenos eléctricos y los magnéticos que se han venido estudiando de forma analógica dan pie a la introducción de este apartado que no tiene más objeto que llegar a comprender la necesidad de cargas en movimiento para producir a su alrededor campos magnéticos, y cómo se puede llegar a demostrar experimentalmente (experiencia de Oersted). La A.9 viene a reflejar el problema tal cual se planteó el siglo pasado en la comunidad científica y en la A.10 se ha descrito la experiencia para hacer

el análisis de los resultados, que se completa, a nivel cualitativo en la A.11. En la A.12 se insiste en esta interpretación.

3.3. Campos magnéticos creados por corrientes.

- A.13. ¿De qué factores crees que dependerá la intensidad del campo magnético creado por una corriente rectilínea e indefinida? Compruébalo experimentalmente.
- A.14. ¿Cómo podríamos aumentar el campo magnético existente en un espacio próximo a un hilo conductor por el que circula corriente?
- A.15. Observa el campo magnético creado por una espira de corriente y por un solenoide. Dibuja las líneas del campo. ¿A qué campo se parece el creado por un solenoide?

Comentarios al apartado 3.3.

En estas actividades se pretende razonar cualitativamente acerca de la intensidad del campo creado por una corriente, siendo casi general que los alumnos contesten que la intensidad de dicho campo depende de la intensidad de la corriente y de la distancia al hilo.

La comprobación experimental cualitativa de estas dependencias es rápida (basta mantener el montaje de la experiencia de Oersted e ir variando la intensidad de la corriente que circula, o variando la distancia de la brújula al hilo). Las demás experiencias de observación de campos magnéticos creados por espiras o solenoides son todas cualitativas, y, en A.15 se pretende que comparen el campo creado por el solenoide por el que circula corriente con el creado por un imán recto, con zonas que la llamamos polos norte y sur.

3.4. Corrientes creadas por campos magnéticos.

Hasta ahora hemos visto cómo las corrientes eléctricas crean campos magnéticos. Es de suponer que, con campos magnéticos se puedan obtener corrientes.

- A.16. ¿Cómo podrías obtener corriente eléctrica en un circuito utilizando un imán? (No olvidar el principio de conservación de la energía).
- A.17. Dado el circuito de la figura 17 (inducido) aproximar y alejar un imán (por el polo N y por el polo S). Extraer conclusiones de los resultados.

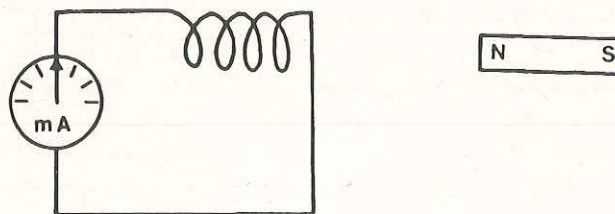


Fig. 17

- A.18. Sustituir el imán por otro circuito (inductor) por el que circula corriente ¿Cómo se podrá obtener corriente en el inducido de la figura 18?

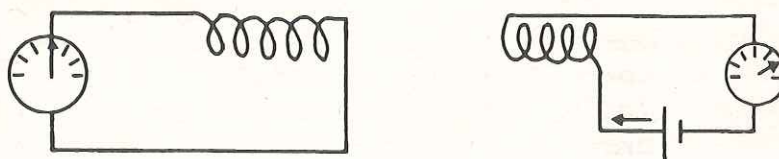


Fig. 18

- A.19. ¿Cómo crees que se obtiene la corriente eléctrica industrial? Construye un alternador y hazlo funcionar.
¿Cuál es la diferencia entre un alternador y una dinámo? Construye una dinámo y hazla funcionar.
- A.20. Síntesis de la interacción electromagnética por parte del profesor.

Comentarios al apartado 3.4.

En estas actividades se pretende una introducción cualitativa a la inducción electromagnética, que fue el punto de partida del trabajo teórico de Maxwell para la elaboración de la teoría electromagnética, que, junto con la Mecánica Newtoniana constituye el pilar de lo que conocemos como física clásica.

Todas las experiencias propuestas en A.17, A.18 y A.19 son las clásicas de inducción electromagnética, siendo el montaje de un alternador y una dinámo de gran ayuda para entender el gran interés práctico del fenómeno.

En A.20 se pretende dar a conocer a los alumnos algunos de los aspectos más importantes de la teoría de Maxwell, como la predicción de la radiación electromagnética, su propagación en forma de ondas con la correspondiente transmisión de energía, y el cálculo de la velocidad de propagación, que era precisamente el valor experimental de la velocidad de la luz en el vacío (lo que parecía indicar el origen electromagnético de las ondas luminosas). La confirmación experimental dio paso a aplicaciones técnicas tan fundamentales como el radar, la radio y la televisión, lo que dio incuestionable importancia teórica y técnica al electromagnetismo.

Así la ciencia habrá elaborado a lo largo de dos siglos un edificio coherente y de gran eficacia para la interpretación del comportamiento de la materia, y, parecía que la ciencia física estaba prácticamente culminada.

Este edificio iba a sufrir a comienzos del siglo XX una fuerte conmoción con la aparición de ciertos fenómenos imposibles de interpretar a la luz de las teorías clásicas provocando una honda crisis de la que surgiría una nueva concepción de la materia mucho más profunda englobada en la llamada física moderna.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.21. En este tema hemos estudiado la interacción entre cargas eléctricas y sus aspectos energéticos. Bajo el punto de vista práctico vemos como en la industria o en los domicilios particulares se utiliza la corriente eléctrica para realizar trabajo (recuerda todos los tipos de motores eléctricos) o para transmitir energía en forma de calor. Nos planteamos ahora, ¿dónde y cómo se obtiene esta energía eléctrica que luego utilizamos? ¿qué transformaciones energéticas tienen lugar en una central generadora de corriente eléctrica? Cita algunos inconvenientes relacionados con dichas centrales.

Comentarios a A.21.

En esta actividad se pretende que los alumnos aprendan a relacionar los conocimientos científicos hasta ahora considerados con la utilización práctica de éstos en una sociedad como la nuestra. Así, deben responder a las preguntas de la A.22 nombrando las centrales hidráulicas, las térmicas y las nucleares, y especificando las transformaciones energéticas que tienen lugar en cada una de ellas.

Los inconvenientes aparecerán relacionados con la contaminación que pueden producir sobre todo en el caso de las térmicas y de las nucleares.

A.22. ¿Cómo se «transporta» la energía eléctrica de los lugares en donde se «produce» hasta los lugares de consumo?

Comentarios a A.22.

Aquí debe quedar clara la necesidad de una «red» metálica para su transporte. El razonar por qué es más interesante transportar la corriente a elevada tensión que a baja tensión puede presentar dificultades dado que no se ha estudiado la corriente alterna, pero se puede discutir el por qué de los materiales utilizados en dicho transporte, teniendo en cuenta la energía eléctrica perdida (en forma de calor) en la red (que será proporcional a la resistividad del material) así como otras variables tales como: resistencia tensora, resistencia a la oxidación, bajo coste... que determinan el utilizar un metal y no otro en la red de alta tensión.

LA TEORIA ATOMICO MOLECULAR DE LA MATERIA

INDICE

Introducción.

1. Planteamiento del problema.
2. Aspectos que apoyan una concepción discontinua de la materia.
 - 2.1. Estudio físico de los gases.
 - 2.2. Estudio de las reacciones químicas
 - 2.2.1. Mezclas y sustancias.
 - 2.2.2. Elementos y compuestos.
 - 2.2.3. Interpretación atomista de las reacciones químicas.
 - 2.2.4. Leyes ponderales.
 - 2.2.5. Síntesis de la teoría atómica de la materia
3. Profundización de la teoría atómica de la materia: el concepto de molécula.
4. Consecuencias de la teoría atómico-molecular de la materia.
 - 4.1. Determinación de masas atómicas y moleculares.
5. La cantidad de sustancia y el concepto de mol
 - 5.1. Determinación de la cantidad de sustancia.
 - 5.1.1. Determinación de la cantidad de sustancia en sustancias gaseosas.
 - 5.1.2. Determinación de la cantidad de sustancia de soluto en disoluciones.
6. Iniciación a la clasificación periódica de los elementos.
7. Primeros modelos atómicos.

INTRODUCCION

El objetivo de la química es el estudio de las sustancias que conforman la materia así como la de sus transformaciones en otras diferentes. Ahora bien, conocer la sustancia desde el punto de vista substancial requiere plantearse muchas preguntas. Una básica que ya se planteó en la Antigüedad fue: ¿la materia es continua o está formada por pequeñas partículas más o menos juntas? En efecto, Demócrito (460-370 a. de C.) y Aristóteles (384-322 a. de C.) representan los dos pensadores principales de las dos soluciones antagónicas propuestas. Aristóteles defiende la continuidad de la materia basado en la evidencia de que la división de un cuerpo no parece encontrar límite alguno; mientras Demócrito defiende la discontinuidad, es decir, la idea de materia formada por corpúsculos.

Durante muchos siglos (más de dos mil años) la problemática siguió abierta, si bien la concepción aristotélica fue inicialmente mayoritaria, hasta llegar a Dalton (1766-1844) cuyos trabajos marcan un hito en la historia de la Química con su interpretación atomista de las transformaciones químicas de la materia.

En el presente tema seguiremos, a grandes rasgos, los pasos más importantes que han permitido resolver la polémica en favor de las teorías atomistas. Por otra parte, la teoría atómica de la materia supone un ejemplo inmejorable para poder comprender cómo la Ciencia surge de la labor de generaciones. El origen y desarrollo de la Química como Ciencia ha sido uno de los momentos privilegiados en la Historia del pensamiento científico y sus repercusiones han afectado a la casi totalidad de los aspectos de la vida de los hombres, mostrando la insoluble relación entre comprensión y dominio de la naturaleza.

Comentarios a la introducción.

Con este tema comienza el estudio de la Química en este curso. De forma general, podemos señalar que la comprensión de los conceptos que constituyen la base fundamental en la que se sustenta el cuerpo de conocimientos de esta materia presentan una difícil asimilación para los alumnos por la dificultad que entraña imaginar los procesos químicos. Precisamente para explicar e interpretar aquellos fenómenos será necesaria la utilización de modelos que, al igual que las teorías, no sólo deberán ser capaces de justificar estos hechos experimentales, sino también de predecir otros nuevos.

El tema que ahora abordamos, el estudio de la teoría atómico-molecular de la materia, supone un requisito fundamental para poder, posteriormente, comprender el desarrollo de la Química por lo que es necesario cuidar su estudio al máximo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

A.1. Un problema básico que ha interesado al hombre desde la Antigüedad es conocer si la materia está formada por partículas o si es continua. Busca pruebas que te permitan decidirte por una u otra idea.

Comentarios A.1.

El estudio del tema se realiza, como en cualquier proceso de investigación, por el planteamiento del problema. En este caso, se trata de debatir la cuestión de la continuidad o discontinuidad de la materia. Los alumnos recuerdan, de estudios anteriores, que está formada por átomos por lo que suelen hablar de la discontinuidad si bien les resulta bastante difícil nombrar experiencias u observaciones que permitan argumentar la afirmación.

Precisamente, todo este capítulo está destinado a demostrar la constitución atómica de la materia a partir de las dos grandes líneas de investigación que históricamente convergieron en este análisis: el estudio e interpretación del comportamiento de los gases y toda la información que sobre reacciones químicas se había acumulado a fines del siglo XVIII.

2. ASPECTOS QUE APOYAN UNA CONCEPCION DISCONTINUA DE LA MATERIA.

Una vez planteado el problema hay que entrar en su resolución y esto tendremos que hacerlo basándonos en ideas que describan cómo se comporta la materia. Como ha demostrado la Historia de la Ciencia, el estudio físico de los gases es el primero que aportó pruebas del carácter discontinuo de la materia ya que su comportamiento es unitario y, por consiguiente, independientemente de la naturaleza de aquellos.

2.1. Estudio físico de los gases.

Los gases, como queda dicho, es el estado de la materia que permite un estudio a un nivel más elemental, pues presenta propiedades físicas generales que permitirán elaborar un modelo basado en la discontinuidad y cuya síntesis será la ecuación de estado de los gases.

A.2. Indicar el nombre de varios gases que conozcáis y señalar cuáles son las propiedades comunes a todos los estados de la materia y aquellas que sirven para diferenciar los gases de los sólidos y los líquidos.

A.3. Supongamos que en un recipiente de vidrio cerrado suficientemente resistente se encuentra un poco de agua líquida y lo calentamos hasta que se vaporiza totalmente tal como indica la figura 1. Si hubiéramos equilibrado el matraz en una balanza antes de calentarlo y lo volvemos a poner cuando el agua se ha vaporizado, ¿qué sucederá en la balanza?

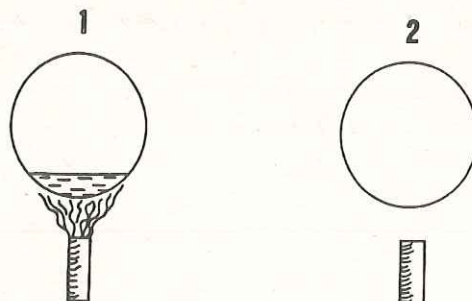


Fig. 2

Una vez estudiadas las propiedades de los gases debemos procurar confirmarlas experimentalmente.

A.4. Diseñar pequeños montajes que puedan utilizarse para poner de manifiesto las propiedades de los gases señaladas.

A.5. Elaborar un «modelo de gas» (cómo creéis que puede ser un gas internamente) que sea capaz de explicar las propiedades citadas. (Apoyar la respuesta con un dibujo).

El modelo elaborado ha sido capaz de justificar, de forma cualitativa, las propiedades macroscópicas observadas; no obstante, su validez tendrá que ser contrastada emitiendo hipótesis y comprobando que éstas se cumplen. Para estudiar las posibles hipótesis derivadas del modelo propuesto vamos a empezar recordando un concepto muy utilizado en los gases, el de «presión».

A.6. Al encerrar un gas en un recipiente se dice que el primero realiza una «presión» sobre el segundo. Explicar, a partir del modelo de gas expuesto, cómo se ejerce la presión de un gas sobre las paredes del recipiente y señalar algún dispositivo que permita comprobar que la presión ejercida por el gas se realiza por igual en todas direcciones.

A.7. Emitir hipótesis respecto a las variables de las que dependerá la presión de un gas confinado en un recipiente.

A.8. Diseñar una experiencia sencilla que permita demostrar la relación existente entre la presión y el volumen de un gas.

A.9. Realizar la experiencia programada y analizar los resultados encontrados.

A.10. a) Diseñar una experiencia que permita comprobar la relación existente entre la presión y la temperatura.

b) Supongamos que al realizar la experiencia programada hubiésemos obtenido la tabla de valores siguientes:

P (mm Hg)	740	960	690	770	760	450
t (°C)	12	0	-7	24	20	-100

Analizar los resultados y extraer conclusiones.

A.11. Sintetizar las distintas hipótesis ya contrastadas en una ley general que nos relacione P, V y T, para una masa dada de gas.

A continuación proponemos dos actividades que suponen aplicaciones de las relaciones obtenidas.

A.12. Una cierta masa de gas ocupa 15 litros a 1 atm. de presión y 27°C. ¿Cuál será el volumen que ocupará la misma cantidad de gas a 2 atm y 327°C?

A.13. Si 10 litros de un gas a 27°C se calientan, a presión constante, dilatándose hasta 30 litros, ¿qué temperatura final habrá alcanzado?

Comentarios a 2.1.

En este apartado se aborda la explicación del comportamiento físico de los gases mediante la introducción de un modelo discontinuo. Esta imagen de los gases como conjuntos de partículas será capaz de predecir hipótesis que puedan ser comprobadas experimentalmente.

El estudio de los gases del apartado 2.1. comienza por la actividad (A.2.) para averiguar la información fenomenológica que posee el alumno sobre este estado de la materia. En principio, se pretende incidir sobre la materialidad de los gases semejante a las sustancias típicamente corpóreas para el alumno (sólidos y líquidos) y puede ponerse en cuestión el peso de los gases debido a que los conciben como sustancias que flotan y sin peso ya que tienden a subir (Furió y Hernández, 1983), así como debe clarificarse lo que se entiende por volumen del gas. Entre las diferencias suelen señalar que los gases son más

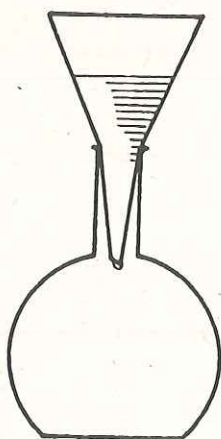
compresibles que los sólidos y líquidos, también algunos pueden señalar que es mayor su dilatación térmica y que pueden mezclarse con gran facilidad.

La A.3. está configurada para comprobar si los alumnos tienen la idea aristotélica de que los gases no pesan o pesan menos que los líquidos «por su tendencia a elevarse». En el caso probable de que tengan este preconceito deberemos cuidar su comprensión por las dificultades que entraña, según ya se ha visto, su superación.

En la A.4. se pide que el alumno diseñe experiencias sencillas para comprobar: a) que los gases tienen masa, b) que ocupan todo el volumen del recipiente en el que se encuentran, c) que se dilatan térmicamente mucho más que los líquidos o los sólidos, d) que se pueden comprimir fácilmente y e) que se difunden.

Para comprobar que pesan (lo que confunden con la expresión «tener masa») los alumnos sugieren pesar un globo vacío e hinchado. Este método presenta dificultades en la práctica pues además de no disponer en el laboratorio de balanzas adecuadas, el empuje del aire provoca que los resultados no sean correctos, por lo que se aconseja proponer el caso conocido de la diferencia de peso entre un balón hinchado y el mismo deshinchado.

Para comprobar que los gases ocupan todo el volumen del recipiente se sugiere hacer la experiencia señalada en el «Manual de la Unesco para la Enseñanza de las Ciencias» y que consiste en comprobar la imposibilidad de introducir agua en un matraz en el que se han cerrado todas las posibilidades de salida del aire (fig-2).



Para la compresibilidad de los gases los mismos alumnos sugieren que puede comprobarse fácilmente con jeringas. Con respecto a la dilatación también puede pensarse en una jeringa que se calienta al «baño maría». Otro diseño puede ser el de utilizar un matraz kitasato que se tapa y se coloca un globo en el tubo saliente al calentarse se observará que el globo se hincha (Nussbaum, 1981). Por supuesto, también pueden proponerse otros pequeños diseños como p.e. colocar un globo hinchado en la nevera y observarlo al día siguiente. Por último, la difusión puede observarse preparando un matraz que contenga un gas coloreado (esto puede conseguirse situando un poco de yodo en el fondo de un matraz y calentando suavemente) y ponerlo en contacto con otro matraz que tiene aire; otra experiencia consiste en colocar, en un tubo grueso, abierto por los extremos, dos trozos de algodón impregnados de clorhídrico y amoníaco, al cabo de un tiempo se observa la formación de un humo blanco de cloruro de amoníaco, formado al mezclarse los dos gases. Es aconsejable poner el que contiene yodo en la parte de arriba para que puedan observar el movimiento del gas hacia abajo lo que puede ayudar a superar el preconceito señalado en otras ocasiones de que los gases «se elevan» (Furió, Hernández y Harris, 1987).

En la A.5 se propone al alumno que elabore un modelo (es necesario previamente haber aclarado suficientemente la idea de lo que es un modelo en química) que permita explicar de forma coherente y verosímil el conjunto de propiedades observadas en la actividad anterior. El modelo más elemental que puede proponerse es aquél que contempla la existencia de partículas separadas y en movimiento caótico.

A continuación se pretende aplicar el modelo en la búsqueda de hipótesis que interpreten las propiedades observadas. Para lograrlo es necesario que previamente el alumno haya entendido el concepto de presión ligado al de los choques de las partículas sobre las paredes debido al movimiento que llevan. También debe profundizarse en la idea de que la presión se ejerce sobre todas las paredes no existiendo direcciones privilegiadas. Para reforzar esta última idea puede ser conveniente realizar e interpretar alguna experiencia como puede ser la observación de un globo cuando se hincha o bien utilizar una jeringa sobre la que se presiona situando el émbolo en distintas posiciones, al dejar de presionar el émbolo vuelve a su posición inicial (A.6.)

Si se ha conseguido que el alumno siga el proceso, comprendiendo todos los conceptos tratados no les será difícil contestar a la A.7. en la que señalarán que la presión dependerá del volumen V , de la temperatura T y del número de partículas N y aunque puedan surgir en el debate otras magnitudes como p.e. la masa de las partículas o de la velocidad de éstas es fácil relacionarlas con las expresadas anteriormente. Conviene, también, señalar el tipo de dependencia entre la presión y cada una de las tres magnitudes señaladas. Estas hipótesis serán contrastadas en las siguientes actividades.

Seguidamente en A.8 se pasa a estudiar la relación entre la presión y el volumen teniendo en cuenta que las otras dos variables (T y N) deben permanecer constantes. Este esquema mental de control de variables es propio de las operaciones formales y debe ser reforzado por el profesor en todos aquellos ejemplos físico-químicos en los que una variable dependa de varias. El diseño que se proponga deberá permitir la medida de volúmenes y presiones así como la forma del estudio de la correlación existente entre aquellas. La medida de los volúmenes no tiene ningún problema para los alumnos que, generalmente, lo resuelven con la jeringuilla cerrada (pueden utilizarse jeringas de plástico de 10 ml). En cuanto a la variación y medida de las presiones puede realizarse mediante la utilización de un juego de pesas iguales (cilindros de acero de unos 200 g) que actúen sobre el émbolo (Calatayud et al, 1980).

La realización de los experimentos pondrán nuevos problemas técnicos cuya solución será la adquisición de destrezas manuales de los alumnos a la hora de la puesta a punto del experimento. Otro aspecto importante es el análisis colectivo de estos resultados comprobándose que la mayoría de los grupos intentan representar $P = f(V)$, cuando la versión más fiable es aquella que representa una función lineal y que, en este caso, corresponde a la gráfica $P=f(1/V)$.

2.2. Estudio de las reacciones químicas.

Hasta aquí se ha llegado al convencimiento de que todos los gases se comportan de la misma manera porque tienen una misma estructura interna, constituida fundamentalmente por partículas aisladas y en movimiento ocupando todo el recinto que los contiene, pero han quedado muchos problemas pendientes: ¿cómo son esas partículas?, ¿son iguales o diferentes?, ¿cuál es su masa y número?, ¿son simples o compuestas?, etc. En este punto vamos a estudiar otra línea de investigación que confirmó la naturaleza discontinua de la materia cual fue el estudio de las relaciones de peso y volumen con que se combinan las sustancias, cuyo tratamiento se realiza más cómodamente entre sólidos y líquidos por su facilidad para poderlos pesar.

Comentarios a la introducción del 2.2.

En estos momentos conviene retornar al punto de partida del tema (es muy probable que el extenso estudio sobre los gases haya hecho olvidar el planteamiento del problema) e indicar que el estudio de los gases ha servido para apoyar la hipótesis discontinua de su constitución, pero ésta deberá mostrar su validez también en los sólidos y líquidos y ser capaz, a su vez, de justificar los cambios materiales que tienen lugar en las reacciones químicas.

Sin embargo, la experiencia nos señala que antes de entrar en este estudio debemos revisar el de conceptos que van a ser utilizados y que el alumno no suele tener asumidos correctamente, tales como: pureza, mezclas y sustancias, elemento y compuesto, etc. Por ejemplo, se ha constatado, por diversos autores, (Caamaño et al, 1984) la fácil identificación que hacen los alumnos entre mezcla y compuesto, que provoca muchos errores en la enseñanza de la química.

2.2.1. Mezclas y sustancias.

La mayor parte de los productos se nos presentan como mezclas, pero es lógico pensar que el químico, cuya misión es el estudio de las transformaciones de la materia, necesita partir de sustancias puras o casi puras por lo que deberemos proceder a utilizar técnicas que permitan separar la sustancia de sus impurezas.

A.14. Poner ejemplos de sustancias puras y de mezclas, ¿qué crees que puede caracterizar a una sustancia pura?

A.15. En el laboratorio tenemos un frasco que «parece agua». Indicar las operaciones que deberemos realizar para comprobarlo.

A.16. Señalar técnicas posibles para separar:

- a) Una mezcla de arena y sal común.
- b) Una mezcla de aceite y agua.
- c) El alcohol que contiene un vaso de vino.
- d) Los colorantes que hay en la tinta del bolígrafo azul o del rotulador.

Comentarios al apartado 2.2.1.

La diferenciación entre mezclas y sustancias se aborda en la A.14 donde se solicita a los alumnos que pongan ejemplos de ambos conceptos. Como es lógico, la mayor dificultad se encontrará, en las mezclas homogéneas, como p.e. las disoluciones, ante la imposibilidad de percibir sensiblemente a los componentes. Es, por ello, que se cuestiona cómo identificar una sustancia a través de sus propiedades características ya que éstas permanecerán invariables mientras no sucede lo mismo en las mezclas ordinarias. En A.15 se puede presentar el problema concreto de una sustancia con apariencia de agua y que realmente no lo sea para que el alumno incida de nuevo en la necesidad de su caracterización. Finalmente se presenta en A.16 algunos problemas experimentales de separación que conviene realizar en el laboratorio, no sin antes debatir la importancia del conocimiento de las propiedades características de las sustancias y de sus diferencias para poder separarlas con éxito.

2.2. Elementos y compuestos.

En estos momentos sabemos ya distinguir, a través del estudio de propiedades, entre una sustancia y una mezcla, pero queda otro problema por resolver y es la diferenciación entre sustancia elemental o simple (elemento) y sustancia compuesta de varios elementos. La solución, a este problema, consistirá en determinar la composición de las sustancias y comprobar si éstas se forman como consecuencia de la combinación de otras más elementales o, por el contrario, se trata de una sustancia simple o elemento. El problema que ahora abordamos ha sido durante muchos siglos uno de los temas motores en el conocimiento de la Química. En efecto la búsqueda de los elementos se remonta a la época de los griegos y aún, hoy día, podríamos indicar que no se descarta la posibilidad de encontrar nuevos elementos. Empédocles (siglo X antes de C.) p.e., afirmaba que todas las sustancias estaban formadas por la combinación de estos cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego.

A.17. Señalar lo que entendéis por elemento y por compuesto.

A.18. Indicar como podríais, experimentalmente, comprobar si las sustancias siguientes son elementos o compuestos: iodo y cinabrio.

Comentarios al apartado 2.2.

Este comienza con una revisión (A.17) de las concepciones de elemento y compuesto que tienen los alumnos y plantear las ideas daltonianas al respecto. Conviene considerar, también, las diferencias esenciales entre compuesto y mezcla tomando ejemplos cotidianos como el agua y el aire para hacer ver que la primera no es una mezcla entre hidrógeno y oxígeno y que el segundo no es una combinación entre nitrógeno y oxígeno. En A.18 se pretende plantear el problema experimental tomando como criterio el de la descomposición, bien térmica, bien electrolítica de los compuestos. Se han elegido el óxido de mercurio por su fácil y espectacular descomposición por el calor aunque hay que tomar precauciones y realizarse en una vitrina de gases por la alta toxicidad de los vapores de mercurio.

2.3.2. Interpretación atomista de las reacciones químicas.

A.19. Buscar ejemplos de reacciones químicas que puedan suceder a nuestro alrededor y explicar en qué se diferencian de los cambios físicos, como p.e. la vaporización del agua

A.20. La descomposición del vapor de agua en hidrógeno y oxígeno es un proceso químico como también lo es la reacción entre el cloro y el hidrógeno para formar cloruro de hidrógeno. Tratar de interpretar, de la forma más elemental posible y ayudándonos de un dibujo, lo que ha sucedido con las partículas en los dos procesos.

Comentarios al apartado 2.2.3.

En A.19 se propone la explicitación, por parte del alumno, de la definición fenomenológica de un proceso químico en el sentido de que existe un cambio sustancial en aquél; conocimiento que es pre-requisito

para la interpretación del proceso y no parece que esté asumido tan siquiera en reacciones elementales como la combustión del alcohol o en la descomposición electrolítica del agua (Carbonell y Furió, 1987). A este respecto conviene presentar diversas situaciones cotidianas como p.e. la oxidación del hierro, la combustión del butano, etc., y cuestionar qué es lo que se obtiene finalmente. En A.20 se pretende que los alumnos elaboren un modelo elemental de reacción para interpretar una descomposición y una síntesis con el objetivo que se redescubra que el proceso químico es, en realidad, un cambio de distribución de los átomos iniciales en nuevas agrupaciones de átomos. La visualización de los procesos ayudará a la comprensión del modelo.

2.2.4. Leyes ponderales.

Hasta ahora se han podido explicar hechos experimentales basándonos en un modelo de partículas y para acabar de dar más consistencia a la teoría vamos a estudiar cuáles son las leyes que rigen las transformaciones químicas de la materia y que intentaremos deducir de aquella.

A.21. Suponiendo que la materia está formada por átomos, deducir consecuencias que puedan ser demostradas experimentalmente respecto a las masas de reaccionantes y de productos que intervienen en las reacciones. Para ello, puede considerarse, a título de ejemplo, la reacción entre el hierro y el oxígeno (oxidación del hierro).

A.22. Diseñar algún montaje sencillo para comprobar lo que sucede con la masa en los siguientes procesos químicos:

- La oxidación de un metal como el magnesio.
- La combustión de un fragmento de papel.

A.23. A partir del modelo elemental de reacción, deducir que pasará con la proporción en masa en la que se combinan dos elementos para formar un compuesto.

A.24. Proponer algún diseño experimental para poder contrastar los resultados de la actividad anterior. Como ejemplo se puede tomar la reacción de formación del óxido de magnesio y proceder a su realización.

A continuación se proponen varias actividades en cuya resolución hay que utilizar las hipótesis anteriores.

A.25. Sabiendo que al descomponer agua por medio de la corriente eléctrica las cantidades de oxígeno y de hidrógeno están en la proporción masa de oxig./masa de hid. = 8/1, ¿qué cantidad de agua se necesitará para poder obtener por este método 10 g de hidrógeno?

A.26. A través de varios experimentos se ha determinado que 10,88 g de nitrógeno han reaccionado con 2,88 g de hidrógeno para formar un gas llamado amoníaco. ¿Cuánto hidrógeno se necesitará, como mínimo, para que reaccionen totalmente 5 g de nitrógeno? ¿Cuánto amoníaco podrá obtenerse?

A.27. La masa de oxígeno contenida en un recipiente pesa 2 g. Si se introducen 3,5 g de magnesio en el recipiente, ¿podrá reaccionar todo el magnesio?

Comentarios al apartado 2.2.4.

Aplicando el modelo elemental de reacción elaborado y partiendo de la idea de que las partículas más pequeñas -átomos- no pueden dividirse más se deduce que el número total de esas partículas no varían, pues no sufren transformación sino reordenación, por lo que la masa total permanecerá constante. Esta hipótesis no parece «tan evidente» en algunos procesos, pues, sabemos las dificultades históricas que se tuvo para interpretar correctamente las reacciones de oxidación por lo que se propone la oxidación del hierro como ejemplo de interpretación (A.21).

En la A.22 se solicitan diseños para comprobar la ley enunciada basándonos en ideas teóricas y se han propuesto dos ejemplos de oxidación: la combustión del papel que se produce con una aparente disminución de masa y la oxidación del magnesio en donde puede comprobarse, al quemarlo, que las cenizas obtenidas pesan, lo que puede suponer una actividad de «conflicto cognoscitivo» por la idea generalizada de que al quemar un material «se escapa algo». Otra de las consecuencias del modelo de reacción que

se puede deducir es la constancia de las proporciones en masa con que se combinan las sustancias. En efecto, en teoría al aplicarse el modelo ha debido observarse que cada partícula de un compuesto estaba formada por el mismo número de átomos de las sustancias simples, consecuentemente la proporción en átomos de cada elemento que lo forman será siempre la misma y, en consecuencia, también lo será la proporción en masa de los mismos que se obtenga en su descomposición. Así, en la A.24 se propone un diseño para comprobar esta hipótesis. En el caso del MgO se plantearía pesar distintos trozos de Mg y proceder a su combustión posteriormente deberá pesarse el MgO formado y por diferencia se conocerá el oxígeno que ha reaccionado en cada caso.

Las siguientes actividades (A.25, A.26 y A.27) son ejercicios de aplicación de las hipótesis manejadas y, en particular, la última plantea dificultad los alumnos ya que suelen pensar que todo lo que se mezcla reacciona sin tener en cuenta la ley de las proporciones constantes.

2.2.5. Síntesis de la teoría atómica de la materia.

En estos momentos estamos en condiciones de tratar de recopilar las ideas que han permitido interpretar los hechos experimentales observados, leyes de los gases y de las combinaciones químicas por lo que a continuación resumiremos los puntos principales que constituyen la teoría atómica y que forman parte de la elaborada por J. Dalton.

A.28. Señalar las ideas principales en que nos hemos basado para justificar que la sustancia es discontinua.

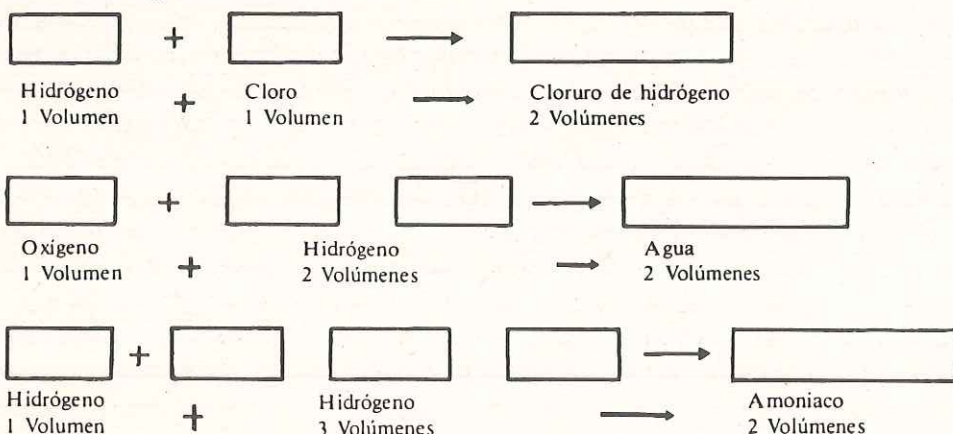
3. PROFUNDIZACION DE LA TEORIA ATOMICA DE LA MATERIA: EL CONCEPTO DE MOLECULA.

El modelo atómico propuesto ha permitido deducir, a nivel general, las leyes de la conservación de la masa y de las proporciones constantes pero se ha partido del supuesto conocimiento de la constitución de las partículas de los elementos y compuestos. Es decir, se ha supuesto que un elemento (gaseoso o no) está constituido por un conjunto de átomos (enlazados en los sólidos y líquidos y libres en los gaseosos) todos iguales pero diferentes de los demás elementos; por otra parte, se ha supuesto que la parte más pequeña de un compuesto tiene un número definido de átomos de los elementos que lo forman. Nuestro problema consistirá en profundizar en el modelo atómico de la materia para llegar a conocer cómo están constituidas las partículas de estas sustancias. Una vez resuelto este problema podremos establecer no sólo sus fórmulas sino también una escala de masas atómicas teniendo en cuenta la proporción en masas en la que se combinan dos elementos y que puede determinarse en el laboratorio.

A.29. ¿Cómo puede averiguarse el número de átomos de cada elemento que forman una molécula en una sustancia compuesta como el agua, el amoníaco, el cloruro de hidrógeno, etc.?

A.30. Partiendo del modelo de gas establecido en el apartado anterior (2.1), indica qué relación habrá entre los números de partículas existentes en volúmenes iguales de gases diferentes si están a la misma presión y temperatura.

A.31. Gay-Lussac estudió las relaciones de los volúmenes con que se combinan los gases, manteniendo la presión y la temperatura constantes, observando que estas relaciones eran muy sencillas. A continuación se dan algunos resultados:



Justifica estas relaciones señalando cuáles pueden ser la composición de las partículas de cada una de las sustancias que intervienen.

A.32. Se ha comprobado experimentalmente que 4 litros de monóxido de carbono reaccionan con 2 litros de oxígeno, obteniéndose 4 litros de anhídrido carbónico. Suponiendo que se conoce como son las moléculas del monóxido de carbono (CO) y del oxígeno (O₂) deduce las del anhídrido carbónico.

Comentarios al apartado 3.

Este apartado contiene un elevado grado de dificultad para el alumno dado que predomina una concepción e imagen de la materia como aglomerado de átomos iguales o diferentes según sean elementos o compuestos y se pretende construir el concepto de molécula que, en general, se asigna sólo a los compuestos. Para ello se comienza con una actividad del planteamiento general del problema (A.29) que debe conducir, primero, a descomponer o sintetizar un compuesto a partir de sus elementos y, en segundo lugar, su solución supone conocer el número de partículas tanto del compuesto de partida como de los elementos formados. He aquí un doble problema que costó resolver a los científicos ya que ni se podían contar las partículas ni se sabían si la de los elementos constaban de un sólo átomo. Se puede plantear más fácilmente el problema a partir de la síntesis del compuesto en lugar de la descomposición como aconsejan, según su experiencia, algunos profesores de niveles elementales.

En general se alude, por los alumnos, que la medida de las masas de los elementos obtenidos puede dar una solución, dando por supuesto que las masas atómicas de diferentes elementos son iguales. Y, es aquí donde el profesor deberá recordar que el modelo unitario de los gases tiene implicaciones que no va a permitir resolver el problema. En efecto, la hipótesis de que la presión de un gas era proporcional al número de partículas (independientemente de su naturaleza) siempre que se mantuviera constante su volumen y su temperatura, conduce a la derivación lógica de que a igualdad de presión de dos gases diferentes deben existir el mismo número de partículas. Y, a la inversa, si la presión y la temperatura se mantienen constantes los volúmenes de estos gases correlacionarán con la cantidad de partículas. Es decir, la medida indirecta del número de partículas obtenidas puede realizarse a través de los volúmenes formados en las reacciones gaseosas (A.30). Esta primera hipótesis de Avogadro es pues, una consecuencia del modelo de gas propuesto en el apartado 2.1. y, por tanto, a partir de las reacciones de los volúmenes con que se combinan los gases para formar otros se podría deducir la constitución poliatómica de las moléculas.

Así, en A.31 se dan los resultados experimentales obtenidos por Gay-Lussac y su interpretación conducirá a la segunda hipótesis de Avogadro respecto al concepto de molécula poliatómica en los elementos gaseosos si se desea mantener el postulado daltoniano de la indivisibilidad de los átomos (Beltrán et al, 1976); así como se podrá determinar la composición de las moléculas de los compuestos que participan en estos procesos con una regla de máxima simplicidad. Esta actividad debe ir acompañada de los dibujos correspondientes para una mejor comprensión del proceso seguido.

Finalmente concluye este apartado con un ejercicio de aplicación con el fin de deducir la fórmula de la molécula de CO₂ a partir de la relación volumétrica de combinación entre el CO y el O₂. Conviene plantear algunas cuestiones más para evaluar se ha producido asimilación del concepto de molécula e incidir, nuevamente, en la diferenciación entre mezcla y compuesto a nivel conceptual.

4. CONSECUENCIA DE LA TEORÍA ATÓMICO-MOLECULAR: DETERMINACIÓN DE MASAS ATÓMICAS.

Establecidas las primeras ideas sobre la constitución de las partículas de los elementos y de los compuestos se hace necesario la introducción de una primera magnitud de los átomos: su masa. Así pues, una primera consecuencia de la teoría atómico-molecular de la materia es la medida de las masas atómicas relativas que estudiamos a continuación.

4.1. Determinación de masas atómicas y moleculares.

El método que se utilizó para asignar una masa a cada uno de los distintos átomos consistió en pesar distintas cantidades que se sabe previamente que poseen el mismo número de átomos y compararlo con el peso de un número igual de partículas de un elemento que es utilizado como patrón. Este, en un principio, correspondió al átomo de hidrógeno, al que se le asignó el valor 1 una (unidad de masa atómica) posteriormente fue modificada y actualmente la masa patrón unidad es la «doceava parte de la masa de un átomo de C¹²».

- A.33. Experimentalmente se comprobó que 1 g de hidrógeno reaccionaba con 35,5 g de cloro para formar cloruro de hidrógeno y con 8 g de oxígeno para formar agua. Proponed un valor para la masa atómica del cloro y otra para la del átomo de oxígeno si tomamos como unidad la masa de un átomo de hidrógeno y consideramos para las fórmulas del cloruro de hidrógeno y del agua las deducidas en la sección anterior.
- A.34. Al descomponer amoníaco (NH_3) las relaciones de masa entre el nitrógeno y el hidrógeno que lo forman están en la proporción 4,67/1. Determinar la masa relativa del nitrógeno respecto al hidrógeno.
- A.35. Cuando decimos que la masa atómica del oxígeno es 16 queremos significar que:
- Un átomo de oxígeno tiene una masa de 16 g.
 - Un átomo de oxígeno tiene una masa de 16 mg.
 - Un átomo de oxígeno tiene 16 veces mayor masa que uno de hidrógeno.
- A.36. Sabiendo que en volúmenes iguales de dos gases elementales diferentes (p.e. nitrógeno e hidrógeno) hay el mismo número de partículas, ¿cómo puede determinarse la masa molecular del nitrógeno?
- A.37. Calcular la masa molecular del cloruro de hidrógeno, del agua y del amoníaco.

Comentarios al apartado 4.1.

Para solucionar el problema de la determinación de masas se parte del conocimiento sobre la composición atómica de las moléculas del compuesto (fórmula) y debe establecerse un mecanismo que permita determinar la proporción en masas en la que intervienen los elementos que forman el compuesto lo que podrá realizarse a través de una síntesis o de una descomposición. Estos datos son suficientes para averiguar las veces que un átomo es más pesado que el otro. Para poder disponer de una tabla debe elegirse, en primer lugar, un átomo que actúe como masa unidad, por lo que parece lógico que se comenzase eligiendo el más elemental - el hidrógeno-. Una vez el alumno haya entendido el proceso que se siguió para el establecimiento de la tabla de masas atómicas deberá comentarse el cambio de unidad con las circunstancias que aconsejaron hacerlo. Este procedimiento permite proponer masas atómicas relativas al hidrógeno, para el átomo de cloro y el del oxígeno (A.33) y para el de nitrógeno (A.34). En A.35 se trata de reforzar el concepto de masa atómica relativa la A.36 permite determinar masas moleculares relativas basándonos en el modelo de gas y en las hipótesis de Avogadro y, por último, la A.37 es un ejercicio de cálculo de masas moleculares como suma de las masas atómicas una vez conocida la fórmula del compuesto. Hay que tener en cuenta que el dominio de los conceptos matemáticos de relación y de proporción en estas edades es bastante escaso por lo que hará falta visualizarlo reiteradamente.

5. LA CANTIDAD DE SUSTANCIA Y EL CONCEPTO DE MOL.

La predicción de las masas de las sustancias que reaccionan, según la teoría atómica estudiada, exige no sólo el conocimiento de la relación en que se combinan las partículas (p.e. 2 moléculas de hidrógeno reaccionan con 1 de oxígeno para formar 2 de agua) sino también la masa (en gramos) de cada uno de los átomos y moléculas participantes. Ahora bien, la enorme pequeñez de estas partículas hace inviable que se puedan contar directamente, de ahí que se planteara la búsqueda de una cantidad de sustancia que utilizando la balanza nos permitiera contar las partículas y cuyo rasgo principal es el de conjunto de partículas. La unidad introducida que estudiamos se llamó mol.

- A.38. En un saco grande tenemos bolas muy pequeñas todas iguales cuya masa desconocemos y no poseemos la balanza adecuada para poder pesar bolas tan pequeñas. En otro saco tenemos otras bolas que se sabe que tienen doble masa. Deseamos separar, lo más rápidamente posible dos paquetes (uno de cada clase) que contengan el mismo número de bolas. Explica el procedimiento que seguirías para conseguirlo.
- A.39. Sabemos que la masa de un átomo de oxígeno es 16 veces mayor que la del átomo de hidrógeno. ¿Qué cantidades de estos elementos deberíamos tomar para tener la completa seguridad de que tomamos el mismo número de átomos?

A.40. Si conocemos que la masa molecular relativa del agua es 18 y la del anhídrido carbónico 44, ¿habrán el mismo número de moléculas en 9 g de agua que en la misma cantidad de anhídrido carbónico?

Comentarios al apartado 5.

Este apartado está dedicado a la introducción del concepto de mol que suele ser difícil de asimilar por los alumnos como se comprueba a través de innumerables trabajos que la investigación didáctica dedica al tema (Dierks, 1981).

Previamente a esta introducción es importante tener presente la necesidad de que los alumnos sepan el significado matemático de lo que es una relación o razón, así como el de una proporción (Rowell y Dawson, 1980), ya que sin éstos será todavía más difícil la comprensión del concepto de mol como unidad de cantidad de sustancia que tiene que competir con otras muy arraigadas (el gramo o el kilogramo). En la A.38 se indica esta introducción centrandó el problema en la necesidad de tener cantidades iguales de bolas (partículas) a través de la pesada, si bien se ha simplificado conscientemente la cuestión de manera que la relación entre las masas de dos partículas diferentes será también la razón entre las masas macroscópicas de estas sustancias, siempre que se quiera mantener la condición de que hayan en aquellas masas el mismo número de partículas. En A.39 se procede al manejo del concepto de masa atómica relativa y cuya solución permite definir la mol en los casos de los elementos oxígeno e hidrógeno.

Finalmente en A.40 se procede al manejo del concepto de proporción con el fin de incidir en la igualdad o desigualdad de las razones de las masas de compuestos que se indican y ofrecer si se ha asimilado o no el concepto. Nos parece más adecuado postergar al final la introducción de la constante de Avogadro. Para completar este concepto de mol y aunque se presenta como información adicional al alumno puede constituir, su determinación experimental, una línea de investigación abierta a niveles superiores. Puede también solicitarse en esta actividad una tabla de doble entrada donde se cuestione el valor en gramos de una mol de átomos y/o de moléculas de elementos y compuestos cuya composición sea conocida por ellos, así como la discusión sobre qué es lo que tienen en común todas estas diferentes cantidades para llegar a la generalización del número de partículas.

Sustancia partículas	Masa de una mol de átomos	Número de átomos	Masa de una mol de moléculas	Número de moléculas
Hidrógeno				
Oxígeno				
Nitrógeno				
Cloro				
Anh. Carbónico				
Cloruro sódico				

La nueva unidad que vamos buscando y que nos va a permitir contar las partículas recibe el nombre de mol y se define como «la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono (12)», estas entidades elementales pueden ser átomos, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de éstas y es necesario explicitarlas. Podemos decir que el mol es la unidad más adecuada para medir las cantidades de las sustancias que están representadas por fórmulas químicas y representa un número distinto de partículas o entidades, este número ha podido determinarse experimentalmente y recibe el nombre de constante de Avogadro siendo su valor $6,02 \cdot 10^{23}$ part/mol.

5.1. Determinación de la cantidad de sustancia.

A.41. ¿Cómo puede determinarse el número de moles existentes en una cantidad de una sustancia pura sólida, líquida o gaseosa?

El cálculo del número de moles que hay en una cantidad de sustancia requiere previamente la determinación de la masa de una mol de aquella (llamada masa molar).

- A.42. Partiendo de la definición de mol y del concepto de masa molecular relativa, determinar cuáles serán las masas de cada mol de los compuestos: cloruro de hidrógeno, agua, amoníaco.
- A.43. Determinar la cantidad de sustancia que hay en: a) 10 g de agua líquida, b) 20 g de cloruro de hidrógeno gaseoso y c) 1 g de amoníaco gaseoso.
- A.44. El carbonato de calcio es un compuesto sólido (mármol). Si deseamos disponer de 0,1 mol, ¿qué debemos hacer?
- A.45. Una gota de agua tiene una masa de 0,6 mg. Se pide:
- Cantidad de agua que contiene la gota.
 - Número de moléculas existentes en la gota.
 - Número de átomos de cada clase.
 - ¿Cuántos gramos de agua se necesitarán para disponer de diez millones de moléculas de agua?
- A.46. Determina el número de átomos presentes en 10 g de ácido sulfúrico.
- A.47. ¿Cuántos átomos hay presentes en 8 g de oxígeno?
- A.48. ¿Cuántas moléculas hay en 100 ml de tetracloruro de carbono? (la densidad de este compuesto es 1,595 g/ml).

Comentarios al apartado 5.1.

El apartado comienza con la A.41 donde se plantea, de forma general, el problema del procedimiento para calcular el número de moles, el cual dependerá, en pura lógica del concepto de mol y de la mayor o menor facilidad para medir la masa de las sustancias según su estado físico. Los alumnos responden mayoritariamente que habrá que pesar la sustancia y, a continuación, establecer la proporción correspondiente (regla de tres simple). Prácticamente no utilizan, en sus estrategias iniciales de resolución, la operación de dividir para llegar a $n = m/M$ (Gabel y Sherwood, 1984). Las actividades siguientes son de aplicación sobre la determinación de números de moles, moléculas y átomos contenidos en una cantidad de sustancia.

Hasta ahora nos hemos limitado a calcular la cantidad de sustancia, en general, a partir de la masa y suponiendo que se trata de las sustancias puras en cualquier estado físico; sin embargo, cuando las sustancias se presentan en forma gaseosa es más usual conocer las condiciones de presión, volumen y temperatura. Por otra parte, en química, es muy corriente utilizar disoluciones por lo que abordaremos, a continuación, la determinación de la cantidad de sustancia en estos dos casos particulares.

5.1.1. Determinación de la cantidad de sustancia en gases.

Recordemos que en el estudio de los gases realizado habíamos llegado a la expresión: $PV/T = \text{cte.}$ y que el valor de esta constante dependía del número de partículas. Precisamente el número de éstas en todas las sustancias viene medido por la cantidad de sustancia, n , por tanto podemos sustituir el valor de la constante anterior por el producto $n \cdot R$ y la expresión general obtenida será: $PV = nRT$, donde R es una constante que sirve para todos los gases y cuyo valor se ha determinado experimentalmente resultando ser 0.082 atm.litro/mol^oK.

Por consiguiente podemos, ahora, determinar el número de moles de sustancias gaseosas conociendo las condiciones de P , V y T en que se encuentran (lo que es mucho más corriente que conocer la masa).

- A.49. Calcular el número de moles que existirá en un matraz que contiene 250 cm³ de oxígeno a 1 atm de presión y 27°C de temperatura.
- A.50. Calcular el volumen que ocupa 1 mol de cualquier gas en condiciones normales, es decir, a 1 atm. y 0°C.
- A.51. Calcular el volumen que ocupan 2 g de hidrógeno en c.n. (condiciones normales).

A.52. Señalar cuánto pesará el amoníaco contenido en un recipiente de 0,5 litros en c.n.

A.53. Determinar cuánto pesa el monóxido de carbono contenido en un matraz de 1 litro a 1,2 atm. y 27°C.

Comentarios al apartado 5.1.1.

Para medir el número de partículas, en un volumen dado de gas, debemos retroceder al estudio de los gases y concretamente recordar la síntesis de las leyes que expresan el comportamiento de éstos. Ahora hay que recordar que ya se había insinuado la existencia de una relación, directamente proporcional, entre la presión y el número de partículas presentes, aunque no sabíamos averiguar el número de éstas. Pues bien, en los apartados vistos hasta ahora se ha introducido la mol como la unidad ideada para efectuar esta contabilidad, por tanto, fácilmente se llega a la ecuación general de estado de los gases perfectos en la forma $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$. Expresión que no dependerá ni de la masa considerada ni del tipo de gas. En las actividades propuestas se aplica esta ley general al cálculo del número de moles en gases (A.49) y se determina el volumen molar (A.50 y A.51) de un gas que, por otra parte, los alumnos generalizan a todo tipo de estado físico. En A.52 y A.53 se complican los ejercicios para obtener la relación entre la masa/peso del gas y las variables de estado (P , V , T).

5.1.2. Determinación de la cantidad de soluto en disoluciones

En química se trabaja mucho con disoluciones, especialmente acuosas, por ello vamos a abordar, en primer lugar la comprensión de los conceptos que se utilizan en éstas para, posteriormente, pasar a determinar la cantidad de sustancia y aprender a preparar disoluciones de concentraciones determinadas en el laboratorio.

A.54. ¿Qué entendéis por disolución, soluto y disolvente?

A.55. ¿Qué significa el término concentración en una disolución?

A.56. Introducción, por el profesor, del significado de molaridad.

A.57. Calcular la cantidad de soluto existente en 100 cm³ de una disolución 2 M de NaOH. ¿Cuál será la masa del soluto presente en dicho volumen?

A.58. Determinar la molaridad de una disolución que se ha preparado disolviendo 10 g de Na₂CO₃ (carbonato de sodio) en agua hasta completar un volumen de 250 cm³ de disolución.

A.59. Calcular la cantidad de sustancia que hay en:

a) 2 g de hidróxido de sodio (NaOH).

b) 10 litros de dióxido de carbono (CO₂) medidos a c.n.

c) 100 cm³ de una disolución 0,1 M de ácido clorhídrico (HCl). (Las moles que se piden son únicamente las del soluto).

A.60. Proceder a preparar, en el laboratorio, una disolución 0,1 M de NaOH.

Comentarios al apartado 5.1.2.

En este punto se estudia la determinación del número de moles de soluto en disoluciones dado que será requisito previo para los cálculos estequiométricos del capítulo XI. Las dos primeras actividades (A.54 y A.55) sirven para conocer las ideas que poseen los alumnos sobre los conceptos elementales de disolución, soluto y disolvente (Llopis et al, 1987) que deben haber utilizado en anteriores ocasiones pero que, en general, no los tienen bien ligados a su estructura cognitiva. En A.56 se introduce, por el profesor, el concepto de molaridad pero puede plantearse su definición por los alumnos como nueva magnitud que mida la concentración de partículas del soluto en una disolución y, a continuación, se presentan dos actividades de manipulación del concepto (A.57 y A.58). La A.59 es síntesis de lo tratado en los apartados 5.1. y en A.60 y se propone que el alumno adquiera las destrezas operatorias y manuales necesarias para preparar una disolución de concentración determinada en el laboratorio. Se ha planteado en forma de problema en la que el alumno debe fijar el volumen de solución que se necesita y cuya realización creará algunos

problemas al alumno, poco acostumbrado a manipular material de laboratorio. La selección del NaOH como producto a manipular implica una discusión previa sobre las precauciones que se deben tomar en su manejo.

6. INICIACION A LA CLASIFICACION PERIODICA DE LOS ELEMENTOS.

La búsqueda de los elementos ha sido uno de los motores en el avance de la química. La idea de que existen muchas sustancias y que éstas deben proceder de la combinación de un número relativamente pequeño de elementos ya procedía de la época de los griegos como se indicó anteriormente. Pero fue en 1661 cuando Boyle aporta una definición de elemento como «sustancias químicas que no pueden separarse en diferentes componentes por ningún medio». Esta nueva idea produjo una búsqueda más orientada y, en poco tiempo, la relación de elementos conocidos ha ido aumentando hasta los 106 conocidos actualmente. Ahora bien, como es habitual en la ciencia, la consolidación de una teoría científica conlleva la formulación de nuevos problemas a resolver. Así, en este caso, la existencia de muchos y muy detallados cimientos empíricos de los elementos originó estudios comparativos de sus propiedades y la búsqueda de semejanzas y diferencias entre ellos, con el fin de sistematizar los resultados encontrados. Ello conducirá, inevitablemente, a encontrar interpretaciones que explicaron estas semejanzas y diferencias obtenidas experimentalmente.

A.61. Señalar algún método que permita estudiar de forma ordenada un número tan elevado de elementos.

A.62. Recoged toda la información posible de varios elementos que hayan en el laboratorio.

A.63. A continuación se ofrecen varias fichas de elementos químicos con sus propiedades (ver anexo). Buscar distintas formas de agruparlos y elegir, de entre ellas, la que consideres más adecuada para la ordenación.

A.64. A continuación se presentan dos fichas de elementos con el único dato del número atómico. Completa el resto

Elemento: NEON

1. Masa atómica: 20
2. Propiedades físicas:
3. Reacción con el agua:
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno:

Elemento: SODIO

1. Masa atómica: 23
2. Propiedades físicas:
3. Reacción con agua:
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno:

A.65. Breve exposición, por el profesor, de la historia que desembocó en la ordenación de Mendeleev.

Comentarios al apartado 6

Para el estudio de este punto se ha seguido el esquema del Open University si bien se ha reducido el número de elementos a considerar pues el objetivo es únicamente que el alumno entienda que el Sistema Periódico es fruto de una búsqueda de regularidades que permitan un estudio sistemático de las propiedades de los numerosos elementos que van descubriéndose.

Evidentemente, dado el número reducido de los que consideramos, el alumno puede llegar a distintas ordenaciones; siempre que éstas sean producto de la aplicación de criterios lógicos, deben valorarse positivamente las respuestas y debe servir para comentar los hechos históricos que se produjeron hasta la confección del Sistema Periódico que utilizamos actualmente.

La A.64 debe servir para comprender la utilidad del S.P. en cuanto a sus posibilidades de predicción que, después, se pueden confirmar experimentalmente.

7. PRIMEROS MODELOS ATOMICOS.

La ordenación resultante, en el punto anterior, que resulta «natural» no pudo ser explicada por los conocimientos de que se disponían en aquella época y ello era una manifestación de la nueva problemática científica que emergía cual era el desconocimiento de la estructura interna de los átomos definidos como indivisibles en tiempo de Dalton. Era, pues, necesario investigar qué era un átomo en su interior proponiéndose algunos modelos atómicos a finales del siglo XIX.

A.66. Dalton al exponer su teoría citaba: «La materia aunque divisible en un grado extremo no es, sin embargo, indefinidamente divisible. Esto es, debe haber un punto más allá del cual no podemos ir en la división de la materia... Yo he elegido la palabra átomo para representar estas últimas palabras...»

Criticar esta idea de Dalton, aportando pruebas en favor de vuestros argumentos.

A.67. Exponer las ideas que tengáis sobre la estructura del átomo tanto en lo que respecta a la distribución de la masa como de su carga.

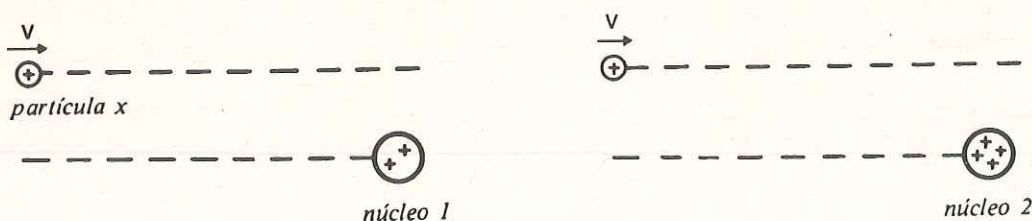
A.68. Explicación, por el profesor, del modelo de Thomson y del fenómeno de la radiactividad natural a fines del siglo XIX.

A.69. Los resultados encontrados al realizar una experiencia de difracción de partículas alfa sobre una lámina metálica muy delgada fueron, de forma resumida, los siguientes:

- La mayor parte de las partículas alfa atraviesan la lámina delgada.
- Un porcentaje muy pequeño de partículas alfa presentan una desviación respecto de su difracción inicial, dependiendo su número relativo del ángulo observado.

Idear un modelo del átomo que sea capaz de justificar los resultados encontrados.

A.70. La medida del número de partículas desviadas bajo un mismo ángulo puede darnos información sobre la carga nuclear de los átomos. En la figura se han dibujado dos partículas alfa que inciden con la misma velocidad sobre núcleos de dos átomos diferentes. Explicar en qué caso será mayor el ángulo de desviación.



A.71. Exposición, por el profesor, sobre el concepto de número atómico y sobre las dificultades del modelo de Rutherford según los principios de la teoría electromagnética.

A.72. El elemento «carbono» tiene 6 de número atómico y 12 de masa atómica. Señalar el número de protones, neutrones y electrones de que constará el átomo de C.

A.73. Existen átomos de un mismo elemento que tienen distintas masas atómicas recibiendo el nombre de isótopos. ¿Qué relación existe entre los números de protones, neutrones y electrones en dos isótopos del mismo elemento?

A.74. El elemento hidrógeno tiene tres isótopos de masas respectivas 1, 2 y 3 que reciben los nombres específicos de hidrógeno (1), deuterio (2) y tritio (3), respectivamente. Señalar el número de cada una de las partículas que forman los átomos de los tres isótopos.

Comentarios al apartado 7.

Las primeras actividades tratan de que los alumnos expresen las ideas que sobre la constitución del átomo tienen pues, en este nivel, ya conocen que la materia está formada por protones, neutrones y electrones por lo que deberemos señalarles que aporten pruebas experimentales que permitan justificar la existencia de estas partículas. El descubrimiento de la radioactividad y el estudio de los fenómenos que le acompañaron fue un hecho crucial que ponía en evidencia la idea de indivisibilidad del átomo. Además, el descubrimiento del electrón, partícula cargada negativamente, y el comportamiento neutro de la materia evidencian la existencia de partículas con carga positiva. Es interesante que los alumnos observen que, por el momento, el neutrón es una partícula que se descubrirá cuando se dispongan de medios que permitan medir directamente masas de partículas y comprobar cómo con las dos partículas precedentes la masa del átomo no coincide con los resultados experimentales. Resulta conveniente comentar que el protón y el electrón ya habían sido detectados pero que el neutrón no se descubrió hasta 1931, si bien ya se presumía su existencia.

ANEXO**Elemento: LITIO**

1. Masa atómica: 7
2. Propiedades físicas: metal, p.f. 186°C, p.e. 1.336° C.
3. Reacción con agua: $2 \text{Li} + 2\text{H}_2\text{O} = 2 \text{LiOH} + \text{H}_2$; algo violenta.
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: Li_2O .

Elemento: CALCIO

1. Masa atómica: 40
2. Propiedades físicas: metal, p.f. 851°C, p.e. 1.437° C.
3. Reacción con agua: $\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$; algo violenta.
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: CaO .

Elemento: MAGNESIO

1. Masa atómica: 40
2. Propiedades físicas: metal, p.f. 651°C, p.e. 1.107° C.
3. Reacción con agua: $\text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Mg(OH)}_2 + \text{H}_2$
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: MgO .

Elemento: BERILIO

1. Masa atómica: 9
2. Propiedades físicas: metal, p.f. 1280°C, p.e. 2.770° C.
3. Reacción con agua: no reacciona debido a una capa protectora del óxido que se forma previamente.
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: BeO

Elemento: BROMO

1. Masa atómica: 9
2. Propiedades físicas: líquido, p.f. -7,3°C, p.e. 59° C.
3. Reacción con agua: $\text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HBr} + \text{HOBr}$.
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: Br_2O , BrO_2 , Br_2O_3 , BrO_3 .

Elemento: ARGON

1. Masa atómica: 40
2. Propiedades físicas: gas, p.f. -189°C, p.e. -186° C.
3. Reacción con agua: no reacciona.
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: no forma ninguno.

Elemento: FLUOR

1. Masa atómica: 19
2. Propiedades físicas: gas, p.f. -223°C, p.e. -187° C.
3. Reacción con agua: $2 \text{F}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HF} + \text{O}_2$
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: F_2O , F_2O_2 , F_2O_4

Elemento: POTASIO

1. Masa atómica: 39
2. Propiedades físicas: metal, p.f. 62°C , p.e. 760°C .
3. Reacción con agua: $2\text{K} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{KOH} + \text{H}_2$; violenta.
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: K_2O

Elemento: CLORO

1. Masa atómica: 35,5
2. Propiedades físicas: gas, p.f. -102°C , p.e. -35°C .
3. Reacción con agua: $\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HCl} + \text{HOCl}$
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: Cl_2O , Cl_2O_3 , ClO_2 , Cl_2O_7

Elemento: HELIO

1. Masa atómica: 4
2. Propiedades físicas: gas, p.f. -272°C , p.e. -2691°C .
3. Reacción con agua: no reacciona.
4. Fórmula de los compuestos con oxígeno: no forma ninguno.

EL ATOMO Y LA UNION DE ATOMOS Y DE MOLECULAS

Indice

Introducción

1. Los fracasos de la física clásica y la afloración de una nueva teoría sobre el comportamiento de la materia.
 - 1.1. El problema de la luz y la cuantización de la energía.
 - 1.2. Aplicación de la cuantización de la energía al problema del átomo.
2. El modelo cuántico del átomo.
3. Estructuras electrónicas de los átomos y sistema periódico.
4. La unión de átomos o el enlace químico.
 - 4.1. Las propiedades de las sustancias con vistas al estudio del enlace químico.
 - 4.2. Generalidades sobre el enlace químico.
 - 4.3. El enlace iónico y la interpretación de algunas propiedades de las sustancias iónicas.
 - 4.4. El enlace covalente y la explicación de algunas propiedades de las sustancias con enlaces covalentes.
 - 4.5. Iniciación al enlace metálico.
5. Las uniones entre moléculas.
6. Formulación de algunos compuestos binarios y ternarios.
7. Actividades complementarias

INTRODUCCION

A finales del siglo XX la Física clásica llega a su máximo apogeo con la interpretación de la luz como onda electromagnética, ahora bien es también en esta época cuando surgen una serie de problemas que ponen en duda esta concepción unitaria de la luz, así como la interpretación del electrón como partícula. La solución a estos problemas supusieron la introducción de un nuevo edificio conceptual conocido como la Física Cuántica -o Moderna-, cuya primera aplicación importante fue una nueva interpretación del átomo.

Esta nueva idea de lo que es el átomo hubo de resolver algunos de los principales problemas que había pendientes en el campo de la Química, tales como:

- la explicación causal de las semejanzas y diferencias entre las propiedades químicas de los elementos, propiedades que se habían obtenido de forma empírica durante los siglos anteriores y que se habían sistematizado en el llamado Sistema Periódico de los elementos. Se pretende con ello contestar cualitativamente a cuestiones como por ejemplo: ¿cuáles son las razones que justifican que los metales alcalinos o los halógenos sean tan reactivos y, sin embargo, apenas lo sean los denominados gases nobles?;

- otro problema químico pendiente y ligado al anterior era la justificación de la unión de átomos en partículas mayores (moléculas, cristales, etc...) según proporciones numéricas determinadas experimentalmente -fórmulas-, bien entre átomos iguales como p.e. el caso de las moléculas diatómicas de gas cloro (Cl_2), bien entre átomos diferentes como sucede en los compuestos. Es decir, se busca la respuesta a preguntas como ¿por qué la molécula de agua es H_2O y no OH o HO_2 ?

Así pues, la solución a estos problemas está estrechamente relacionada con la nueva concepción del átomo que surge con la Física Moderna.

1. LOS FRACASOS DE LA FÍSICA CLÁSICA Y LA AFLORACION DE UNA NUEVA TEORÍA SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA

A.1. Explicación por el profesor sobre los problemas de la Física clásica a fines del siglo XIX.

Comentarios A.1

Esta actividad pretende la presentación del panorama de la Física a fines del siglo pasado en dos sentidos: comentar el apogeo de la Física clásica como paradigma que sustituyó al cuerpo de conocimientos aristotélico-escolásticos y enumerar algunos de los problemas fundamentales que la hicieron entrar en crisis.

En el primer aspecto cabe insistir en los éxitos de la Física clásica al interpretar más profundamente el mundo que nos rodea. Entre sus principales éxitos destacan: la síntesis de las mecánicas celeste y terrestre, separadas inicialmente en la Física escolástica, con la introducción de las interacciones y de las fuerzas como causas de las variaciones del movimiento; la integración de las explicaciones de los fenómenos caloríficos (y acústicos) en un cuerpo único (la Mecánica) y, finalmente, la síntesis electromagnética, citada anteriormente, que daba una visión coherente y estructurada del comportamiento eléctrico, magnético y óptico de la materia. Así pues, dentro de la Física clásica el comportamiento submicroscópico de la materia se explica en base a la distinción entre las partículas materiales o corpúsculos (átomos, iones, electrones, etc...) que pueden desplazarse a través del espacio y tiempo absolutos y las radiaciones concebidas como ondas (luz visible, ondas hertzianas, rayos infrarrojos, rayos X, etc...). Este diferente comportamiento puede establecerse experimentalmente mediante el fenómeno de la difracción observable en las ondas pero no en las partículas. La presentación de estos éxitos de la Física clásica no debe olvidar los avances científico-técnicos que todavía hoy disfrutamos como la radio, la televisión, etc...

En el segundo aspecto apuntado debe mostrarse como el crecimiento de una ciencia no es simplemente acumulativo y lineal, sino que surgen problemas que las teorías existentes no pueden justificar y ello da lugar a un período de crisis (de crecimiento) del paradigma clásico. Entre los problemas que llevaron al cambio paradigmático y que se detallarán más adelante están: el efecto fotoeléctrico que puso en cuestión la naturaleza ondulatoria de la luz y la emisión de radiaciones de los cuerpos calientes y, en particular, de los gases que hicieron reconsiderar la naturaleza corpuscular de los electrones. Por otra parte, cabe también reseñar como problema no explicado la inestabilidad «teórica» del átomo planetario del átomo de Rutherford (expuesto en el tema anterior), dado que según la teoría electromagnética el movimiento circular de los electrones alrededor del átomo implicaba, al estar acelerados, la emisión de ondas electromagnéticas y, por consiguiente, la pérdida de energía del sistema que conllevaba una caída en espiral del electrón hacia el núcleo. También se puede hacer mención del fracaso en la detección de un sistema de referencia en reposo absoluto.

Todos estos problemas científicos no resueltos condujeron a la crisis de la Física clásica y conllevaron la búsqueda de un marco teórico más amplio, cuya solución fue un nuevo paradigma conocido como Física Moderna, resultado de la conjunción de los estudios de relatividad y de la Mecánica Cuántica.

1.1. El problema de la luz y la cuantización de la energía

Dejando al margen el problema de la constancia de la velocidad de la luz que se resolvió poniendo en duda concepciones muy arraigadas que parecían tan evidentes como el carácter absoluto del espacio y tiempo newtonianos, abordaremos cualitativamente el derrumbamiento de las concepciones unitarias de la luz como onda electromagnética y la del electrón como partícula. Problemas cuya solución supusieron la introducción de la Física cuántica y cuya primera aplicación fue la interpretación del átomo.

A.2. Explicación del profesor sobre la naturaleza corpuscular de la luz en el efecto fotoeléctrico. La cuantización de la energía.

Comentarios A.2

En cuanto al efecto fotoeléctrico se puede iniciar esta exposición del profesor con el descubrimiento del mismo en el experimento de Hertz, donde la chispa entre los terminales metálicos del detector saltaba mucho más fácilmente si se iluminaban con la luz procedente de la descarga en el circuito oscilante. Planteada la explicación de este fenómeno de interacción entre la luz y los átomos del metal debería esperarse, desde el punto de vista de la Física clásica, que la extracción de los electrones fuera

independiente de la frecuencia de la luz incidente y sólo se requiriera una elevación dada de la intensidad luminosa para iniciar el fenómeno. En cambio, los resultados obtenidos confirmaron la influencia decisiva de la frecuencia de la luz para poder extraer electrones y darles energía cinética, mientras que este efecto era independiente de la intensidad luminosa y solamente incidía en la cantidad de electrones arrancados. Piense en la distribución uniforme de la energía que se supone en un frente de ondas y en la necesidad de la explicación mediante el comportamiento corpuscular (concentración energética) de la luz y, en consecuencia, en el nacimiento del concepto de fotón como hipótesis plausible para explicar el fenómeno. Ello supone la aceptación de la discontinuidad de la energía en forma de paquetes (cuanta) y la de la naturaleza corpuscular de la luz al tiempo que no se podía renunciar a su naturaleza ondulatoria para justificar los fenómenos de difracción ya experimentados anteriormente.

1.2. Aplicación de la cuantización de la energía a la emisión de las radiaciones de los cuerpos calientes: Interpretación cuántica del átomo.

Otro fenómeno difícil de interpretar por la Mecánica clásica era la emisión y absorción de luz por los cuerpos a elevada temperatura, así como la explicación de los espectros discontinuos -de rayas- emitidos por los gases incandescentes.

A.3. Explica qué se entiende por espectros y cómo se pueden obtener.

Estos problemas y otros pendientes en la Química de fines del XIX, tenían como denominador común la cuestión: ¿qué es un átomo? A continuación trataremos de ver en qué medida el surgimiento de la Física cuántica viene a resolver este problema del átomo y su estructura interna. Para ello nos familiarizaremos con los espectros discontinuos de los gases y se intentará su explicación cualitativa mediante la aplicación de la cuantización de la energía en el átomo.

A.4. Con el fin de familiarizarnos con los espectros, proceder a analizar mediante un espectroscopio simple las siguientes luces:

- la obtenida por la sal común en un ensayo a la llama (para ello se pone a la llama azul de un mechero un alambre de cobre, previamente lavado con HCl, bañado con disolución de esta sal),
- la de la luz solar,
- la de una lámpara de mercurio,
- la de un tubo de neón de la clase (previamente oscurecer el aula).

A.5. Emitir alguna hipótesis para explicar la emisión de luz por los cuerpos calientes.

Así pues, el problema del átomo aparece como crucial en la explicación de estos fenómenos. Será necesario volver a tratar las ideas respecto del átomo que se dejaron planteadas en el tema anterior y que vamos a retomar aquí.

La incapacidad del modelo planetario del átomo para explicar su comportamiento, supuso la revisión de la concepción de átomo como conjunto de electrones que giran aleatoriamente alrededor del núcleo, aplicándole los nuevos conocimientos sobre la cuantización de la energía:

A.6. Breve exposición del profesor sobre el modelo semicuántico de Bohr con expresión del concepto de estado energético permitido al electrón y de órbitas definidas.

A.7. Explicad con el modelo atómico de Bohr los espectros discontinuos de emisión de los gases.

Las modificaciones parciales de las teorías clásicas sobre el átomo condujeron a un nuevo planteamiento global que aceptaba un comportamiento dual -ondulatorio y corpuscular- para los electrones con el fin de explicar la estabilidad energética del átomo.

A.8. Explicación del profesor sobre el comportamiento dual de la materia y sobre la cuantización energética del átomo según la nueva naturaleza del electrón.

Comentarios A.3 a A.8

En A.3 se presenta la fenomenología de los espectros de emisión tanto continuos (bandas) como discontinuos (rayas), si bien conviene que vaya precedida por la mención previa del fundamento óptico del

espectroscopio como instrumento analizador de las radiaciones monocromáticas de una luz compuesta. Pueden utilizarse espectroscopios manuales sencillos usados también en clase de Ciencias Naturales.

Posteriormente en A.4 se exploran las ideas que tienen los alumnos para explicar el origen de las radiaciones, lo que necesariamente conducirá a plantearse que está pasando en los átomos excitados de la sustancia emisora de luz. En A.5 se reformula el problema por el profesor teniendo en cuenta como prerrequisito para la comprensión del modelo semicuántico del átomo, según Bohr, el significado de átomo excitado -sistema que ha absorbido energía- y la relación del nuevo estado energético con el alejamiento de los electrones del núcleo. Un segundo requisito que conviene visualizar es la vuelta del átomo a su estado normal y su relación con la caída de electrones a su situación inicial. En cuanto al problema fundamental de la interpretación de los espectros de rayas a base de saltos electrónicos entre capas es frecuente entre los alumnos la identificación entre raya y estado energético (capa), cuando debe ser entre raya y diferencia energética de dos estados. Consecuencias de esta primera aplicación de la cuantización de la energía al modelo de átomo son: la existencia de estados energéticos permitidos al electrón en su giro alrededor del núcleo y de órbitas definidas para cada uno de estos estados. Con estas se pudo explicar los espectros discontinuos de emisión de los gases (A.6). De ahí que el análisis de los espectros se convirtiera en una línea importante de investigación para deducir experimentalmente las energías de estas capas permitidas.

Ahora bien en A.7 se exponen por el profesor los problemas que fueron surgiendo al modelo anterior y como en solo 10 años -hasta 1924- hubo de cambiarse al aplicar de forma coherente el nuevo comportamiento de la materia que proporcionaba la Física Moderna. En efecto, una mayor perfección en el análisis de los espectros a través de instrumentos mejores hicieron aparecer problemas de difícil interpretación (desdoblamiento de rayas, la anchura y el brillo de las mismas, el efecto Zeeman, etc...) por el modelo semicuántico, a pesar de sucesivos intentos variando la forma de las órbitas electrónicas (circulares, elípticas, etc...). Estos intentos típicos de una época de transición entre los dos paradigmas, dejaron paso a la nueva concepción del comportamiento de la materia que puede resumirse en:

1. Carácter discreto de la energía.
2. El carácter dual no sólo de ondas como la luz sino también de partículas tales como los electrones (ondas de materia).
3. La indeterminación de las trayectorias como consecuencia de la dualidad y, por tanto, el abandono de órbitas definidas para el electrón alrededor del núcleo que son sustituidas por el concepto probabilístico de orbital.

2. EL MODELO MECANICO-CUANTICO DEL ATOMO

Explicada la estabilidad energética del átomo, a nivel general, vamos a buscar explicaciones para la distribución de los electrones en el interior del átomo con lo que se justificará el comportamiento químico de los elementos.

A.9. Exposición por el profesor sobre la cuantización de la energía en el átomo de hidrógeno (estados permitidos al electrón en el átomo), así como la extrapolación a los átomos que tienen mayor número de electrones.

A.10. Señalar el máximo número de rayas en el espectro del hidrógeno que podrían obtenerse si los únicos niveles energéticos posibles para el electrón fueran los indicados en la figura 1

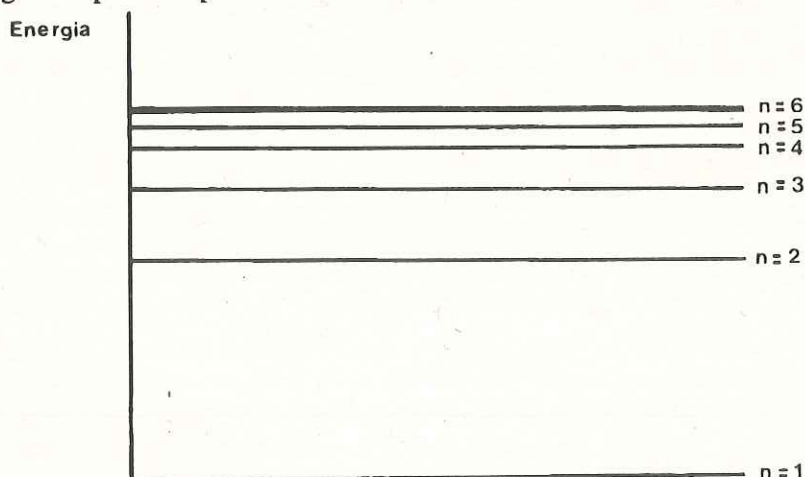


Figura 1

- A.11. Explicación de la capacidad electrónica de cada una de las capas con vistas a la arquitectura electrónica de los átomos complicados.
- A.12. Dibujar las estructuras electrónicas posibles para los átomos de C, O, Ne, K, I, Sr y Fe.
- A.13. ¿Qué zona de la estructura de un átomo crees que es la responsable de la actividad química de un elemento?
- A.14. Obtener las capas de valencia de los átomos de Na, F y Al. Representadlas según las fórmulas de puntos de Lewis.

Comentarios al apartado 2

La aplicación global de la Mecánica cuántica al problema del átomo solucionó no sólo la existencia de estados permitidos al electrón en el átomo de hidrógeno que puede explicitarse por el profesor con la secuencia conocida de capas y subcapas (A.9) y plantearse su aplicación por el alumno en un ejemplo concreto (A.10), sino también solucionó el problema teórico de la capacidad electrónica de cada una de las capas y subcapas con vistas a la arquitectura electrónica de los átomos con más de un electrón (A.11). Expuesto este principio de construcción se aplica en este programa-guía a algunos elementos (A.12), insistiendo en la diferenciación entre el resto atómico y la capa de valencia ya que es esta última zona de la estructura la que interesa resaltar en química (A.13). La aplicación del concepto de capa de valencia en varios elementos puede simbolizarse de varias formas conocidas, ahora bien, dado el nivel elemental del curso se orienta solamente hacia las estructuras de puntos de Lewis que, posteriormente, se manipularán en el enlace químico (A.14).

3. LA ESTRUCTURA ELECTRONICA DE LOS ATOMOS Y EL SISTEMA PERIODICO DE LOS ELEMENTOS

Las nuevas ideas sobre el átomo nuclear constituido por electrones distribuidos como orbitales en subcapas y capas energéticas nos van a permitir justificar, de forma general, el comportamiento químico de los elementos cuya síntesis venía expresada en el Sistema Periódico ya tratado anteriormente.

- A.15. Los gases nobles caracterizados por su inactividad química fueron descubiertos a principios del siglo XX, siendo los más ligeros el He ($Z = 2$), el Ne ($Z = 10$) y el A ($Z = 18$). Deducid sus capas de valencia y explicar su análogo comportamiento químico.
- A.16. Explicad las semejanzas de los primeros elementos alcalinos (Li, Na y K), considerando previamente sus estructuras electrónicas.
- A.17. Los halógenos son elementos muy reactivos que fácilmente se combinan con otros elementos y, en particular, con los metales. Explicad su semejanza química a partir de su estructura electrónica.
- A.18. ¿Cuál es la semejanza entre el oxígeno y el azufre desde el punto de vista electrónico y a qué tipos de iones pueden conducir sus átomos? ¿Y entre el Mg y el Ca?
- A.19. Justificad el número de elementos que existen en cada uno de los 4 primeros períodos del Sistema Periódico.
- A.20. Tomando una silueta del Sistema Periódico, dibujar una raya de separación entre los elementos considerados como metales y los no metales. Explicad los criterios utilizados en esta clasificación.

Comentarios al apartado 3

Este apartado tiene como objetivo básico la explicación del Sistema Periódico, introducido en el capítulo anterior, a partir del conocimiento de las estructuras electrónicas de los átomos de los distintos elementos. Así en A.14 se plantea la relación entre inactividad química y estructura electrónica de gas noble que será el principio orientador que guíe la tendencia general del comportamiento químico de los átomos y si bien en la actualidad carece de rigor y generalidad, es una idea principal, desde el punto de vista

didáctico, para construir por los alumnos la explicación de la reactividad química y las uniones entre átomos en este nivel elemental. Para completar estas explicaciones, que no deben presentarse en forma dogmática, se han elegido grupos «ejemplares» como el I (A.15), el VII (A.16), el II y el VI (A.17). Finalmente se justifican, desde el punto de vista electrónico, la capacidad de los cuatro primeros períodos (A.18), para acabar con la primera gran clasificación conocida por los alumnos, atendiendo a las propiedades físicas de los elementos -eléctricas y ópticas fundamentalmente-. El comportamiento especial de los elementos semimetálicos en la zona intermedia del Sistema Periódico justificará que no sean elegidos como prototipos en el estudio de la unión de los átomos.

4. LA UNION ENTRE ATOMOS O EL ENLACE QUIMICO

El estudio de las propiedades físicas y químicas de los elementos condujo a la clasificación de los mismos en el Sistema Periódico que pudo ser explicado mediante las ideas modernas sobre el átomo, estamos ahora en disposición de cuestionarnos el segundo problema fundamental que la química tenía planteado: ¿cuál es la causa que mantiene unidos a los átomos en unidades mayores y que pueden presentarse en forma de moléculas gaseosas o bien en forma de cristales mayores?

A.21. ¿Por qué crees que se unen los átomos?

Comentarios a A.21

Ante esta cuestión abierta los alumnos expresan sus ideas respecto de la causa de que los átomos permanezcan unidos y suelen responder que el establecimiento del enlace obedece a una interacción eléctrica, es decir, a que unos átomos se encuentran cargados de una forma mientras otros lo están con signo opuesto. Yaunque parezca que ello es debido a una transferencia de lo tratado en el apartado anterior es fácil comprobar que la respuesta en alumnos de edades inferiores es similar. Esta respuesta debe valorarse positivamente y dejar planteado el problema, cuya solución se dará en el estudio de todo este apartado.

- Desde el punto de vista histórico, el conocimiento del enlace químico es fruto de la confluencia de dos líneas de investigación:
- el estudio descriptivo de las propiedades características de las sustancias, cuya acumulación científica condujo a la clasificación de las mismas y
- la explicación de la estructura electrónica de los átomos (vista anteriormente) que favoreció el desarrollo de teorías del enlace químico, una de cuyas consecuencias será la justificación cualitativa de las propiedades observadas en las sustancias.

4.1. Las propiedades de las sustancias con vistas al estudio del enlace químico

Comenzaremos, pues, por la clasificación de las propiedades de las sustancias que proporcionen información respecto a cómo están unidos los átomos.

A.22. ¿Qué propiedades físicas o químicas crees que sería conveniente observar en un conjunto de sustancias con el fin de sacar información respecto a las uniones entre sus átomos?

A.23. Conocidas algunas propiedades de varias sustancias como las que se indican en las fichas del anexo, proceded a su clasificación, expresando los criterios usados en la misma.

A.24. Se dispone de muestras de sustancias desconocidas. Diseñad experiencias adecuadas para saber en qué grupo las clasificaríais (según las conclusiones de A.23) y proceded a la realización de algunas.

Comentarios al apartado 4.1

Con la A.22 se pretende que los alumnos expliciten algunas propiedades que nos puedan dar indicios sobre el enlace de los átomos, tales como los puntos de fusión y ebullición, la solubilidad en disolventes polares y apolares o la conductividad eléctrica en diversas situaciones (sólido, líquido o fundido y en disolución). En efecto, estas propiedades macroscópicas pueden hacerse relacionar con la mayor o menor energía con que están unidas las unidades que forman las fases condensadas de la materia (puntos de fusión y ebullición), nos pueden señalar semejanzas estructurales que pueden existir entre las sustancias que se disuelven y los disolventes en que lo hacen o entre los propios solutos (solubilidad), así como indicar la

existencia o no de cargas libres en el seno de las sustancias en cualquier estado (conductividad). La aplicación de estos criterios de clasificación se realiza sobre 3 sustancias iónicas, 3 con enlaces covalentes y 1 metálica en A.23, si bien sería conveniente la manipulación directa de estas sustancias por estos alumnos y la observación de algunas propiedades en el laboratorio escolar. En este sentido se ha incluido la A.24 con el fin de que se inicien en esta experimentación con algunas sustancias desconocidas para ellos y que son prototípicas como el KCl, el Cu metal y la parafina.

4.2. Generalidades sobre el enlace químico

En el apartado anterior se ha comprobado la existencia de ciertas semejanzas y diferencias en el comportamiento de las sustancias que nos ha permitido su clasificación y ello se ha realizado guiados por nuestro problema principal: la búsqueda de explicaciones científicas a la unión entre átomos, es decir, el estudio de las teorías del enlace químico. Estas teorías deben justificarnos, al menos cualitativamente, las propiedades encontradas en cada uno de los grupos formados.

Así pues, pasaremos de nuevo al nivel submicroscópico para contestar a la cuestión fundamental: la unión de los átomos en unidades mayores.

A.25. Recordad qué parte del átomo puede alterarse en un proceso químico y cuál será la tendencia general de los átomos que pueda explicar su reactividad.

A.26. Emitid hipótesis respecto a cómo los átomos pueden adquirir una estructura electrónica estable en los casos siguientes:

- a) al combinarse un metal como el K con un no metal como el Br,
- b) al reaccionar un no metal como el Cl con otro, también no metal, como el oxígeno.

Ahora bien, el problema de la unión de los átomos debe considerar la tendencia a adquirir estructuras estables de todos los átomos que se ligan y no solamente la particular de uno, de ahí que se presenten varios mecanismos de unión, atendiendo de manera simple a las tres posibles combinaciones entre átomos de:

- 1) un metal y un no metal, que llamaremos enlace iónico,
- 2) un no metal con otro no metal, que llamaremos enlace covalente,
- 3) un metal con otro metal, denominado enlace metálico,

Siempre teniendo presente que la realidad es más compleja y que surgirán, como veremos, muchas excepciones a nuestra lógica combinatoria.

A.27. Interpretad la reacción química entre el flúor gaseoso y el sodio metal para formar el fluoruro de sodio.

A.28. El gas flúor se ha comprobado que se encuentra en forma de moléculas diatómicas F_2 . ¿Cómo se justificaría la unión entre dos átomos de flúor?

A continuación se pasará a estudiar con más detenimiento estas especificidades de la unión entre átomos que hemos indicado, en general, como enlaces iónico, covalente y metálico.

Comentarios al apartado 4.2

Vista en el apartado anterior la clasificación de las sustancias en grandes grupos, se aborda aquí la explicación general de la unión entre átomos. Para ello en A.25 se recuerdan las conclusiones del apartado 3 entre las que se indicaba que la capa de valencia de los átomos era la responsable de las interacciones químicas y que la tendencia general de aquellos para explicar su reactividad era la consecución de una capa electrónica estable y que en este primer nivel bien puede servir la regla del octeto a pesar de sus múltiples excepciones conocidas. En A.26 se presentan los dos tipos extremos de mecanismos para la adquisición de estructuras electrónicas estables: el intercambio y la compartición electrónicas, explicables de forma cualitativa como interacciones eléctricas entre los núcleos próximos y los electrones de enlace. Para este último mecanismo se puede usar la simbología de Lewis, bien representando los pares de electrones en forma de puntos o de guiones entre los átomos enlazados.

Después de utilizar las posibilidades de combinación entre metales y no metales con el fin de llegar a la introducción de los tres tipos de enlaces atómicos, se inicia en A.27 la explicación general del enlace iónico que más tarde se profundizará en el apartado 4.3. En A.28 se hace lo propio con el enlace covalente, reservando el apartado 4.4 para su profundización. La iniciación al enlace metálico se trata en el apartado 4.5.

4.3. El enlace iónico

Hasta aquí se ha identificado la existencia de enlaces iónicos en aquellas sustancias que hemos dado en llamar iónicas y cuyas propiedades se han utilizado en la clasificación del apartado 4.1, ahora vamos a profundizar en el estudio de estos enlaces iónicos y a explicar con este modelo de enlace algunas de sus propiedades.

- A.29. ¿Cuál es la diferencia esencial, desde el punto de vista electrónico y químico, entre un átomo neutro, por ejemplo el de Na, y su correspondiente ión (Na^+)?
- A.30. ¿Cómo podría comprobarse cualitativamente la existencia de iones en una sal de cobre como, por ejemplo, en el cloruro cúprico (CuCl_2) o el sulfato de cobre (II)?
- A.31. Explicad qué familias del Sistema Periódico formarán más fácilmente cationes y cuales formarán más frecuentemente aniones. Predecir las cargas de estos iones.

Demostrada la existencia de los iones interpretaremos cual es la causa de su formación y la de la unión de los iones en un cristal iónico.

- A.32. Proponed como hipótesis qué puede suceder al interaccionar átomos de metales con átomos de elementos no metálicos (entre estos últimos se exceptuarán los gases nobles y los elementos del IV grupo). Tomad como ejemplos las siguientes parejas: el cloro y el sodio, el azufre y el potasio, el calcio y el flúor y el oxígeno y el aluminio.

- A.33. En la reacción entre el cloro y el sodio se combinan muchísimos átomos simultáneamente, formándose cristales de cloruro sódico. ¿Cómo crees que estará formado un cristal iónico de NaCl ?

Veamos a continuación la interpretación, a partir del modelo de enlace iónico, de algunas de las propiedades de estas sustancias.

- A.34. Justificad la conductividad eléctrica de las sustancias iónicas en disolución o en estado fundido y por qué no conducen en estado sólido.
- A.35. Explicad la presentación de elevados puntos de fusión en los compuestos iónicos.
- A.36. Resumid las características esenciales del modelo de enlace iónico estudiado.

Pasemos al estudio de un nuevo mecanismo de unión entre átomos de elementos no metálicos donde, obviamente, no es aplicable el modelo de transferencia electrónica como sucedía en el enlace iónico.

Comentarios al apartado 4.3

Este apartado se inicia con la diferenciación entre los conceptos de átomo neutro y de ión que los alumnos suelen confundir. Se insistirá, en esencia, en dos aspectos: la gran reactividad química del elemento en contraposición a la enorme inercia química del ión Na^+ explicada por su estructura electrónica de gas noble y, al mismo tiempo, se relacionarán ambas especies químicas a través de la pérdida de electrones. Conviene en esta actividad (A.29) distinguir entre el ión Na^+ y el átomo de Ne, ya que al ser isoelectrónicos y fijarse los alumnos solamente en las capas electrónicas, suelen confundirlos.

En A.30 se puede realizar una simple experiencia de visualización de la marcha de iones (viajeros hacia) a través de papel de filtro humedecido con amoníaco (como electrolito), depositado sobre un portaobjetos que tiene dos agujas como electrodos (Nuffield, 1974). Puede también realizarse el mismo experimento con KMnO_4 y observar la fuga de los iones violeta (MnO_4^-) en sentido opuesto al de la mancha azul de los iones hidratados de Cu^{2+} . Posteriormente en A.31 se intenta predecir el tipo y la carga de los iones que pueden resultar de los elementos situados en los grupos extremos de la Tabla Periódica.

Ya en A.32 se toman pares de elementos metálicos y no metálicos con el fin de reincidir en el mecanismo de intercambio electrónico y unión electrostática de los iones formados, mientras en A.32 se ejemplifica con el cloro y el sodio la geometría espacial de una red iónica sencilla con el fin de que no se adquiera la falsa idea de formación de pares de iones unidos y aislados del resto.

Una vez debatidos los principales atributos del enlace iónico se pasa a interpretar cualitativamente

algunas propiedades de las sustancias con enlaces iónicos entre los átomos de sus elementos, tales como la conductividad eléctrica donde se concluirá que no sólo deben existir cargas eléctricas en la red, sino también deben poseer libertad de movimiento (sustancia fundida o en disolución) (A.34); en A.35 se justifican los elevados puntos de fusión con la necesidad de vencer las potentes fuerzas eléctricas y en A.36 se sintetizan las características básicas de este modelo de enlace resumidas en la existencia de iones y su carácter adireccional o multidireccional que origina una distribución regular de aquellos en redes cristalinas tridimensionales.

4.4. El enlace covalente

Ya se ha comentado anteriormente que una primera idea que trató de explicar la unión entre átomos de elementos no metálicos -iguales o diferentes- se basó en la tendencia a adquirir la estructura electrónica de gas inerte por medio de la compartición de electrones, denominándose a este tipo de unión, enlace covalente.

A.37. Justifica mediante fórmulas de puntos que el agua esté formada por moléculas de fórmula conocida H_2O y no HO como indicaba Dalton.

A.38. ¿Cuál es la fórmula que cabe esperar para las moléculas del gas amoníaco (combinación de átomos de N e H)?

A.39. Escribid la fórmula de puntos -y de guiones- para la combinación entre el átomo de C y Cl.

Ahora bien, surgen nuevos tipos de compartición de electrones al considerar otras moléculas donde los átomos enlazados aportan más de un electrón -enlaces covalentes múltiples- o que la compartición no sea igualitaria -enlaces covalentes coordinados y polares- que presentamos a continuación.

A.40. Tratad de explicar la molécula de nitrógeno (N_2) a partir de la estructura electrónica de este átomo suponiendo que cumple la regla del octeto.

Estos enlaces múltiples son muy utilizados en la interpretación de los compuestos de carbono y en casi todas las sustancias orgánicas, como se verá mas adelante.

A.41. Escribid las estructuras electrónicas de puntos y guiones de las siguientes sustancias: metano (CH_4), etileno (C_2H_4) y acetileno (C_2H_2).

A.42. Se ha demostrado la existencia del ion amonio (NH_4^+) en muchas sales. ¿Cómo se podría interpretar la formación de este ion mediante enlaces covalentes?

Otra matización en el enlace covalente debe tenerse en cuenta cuando los átomos que comparten electrones, aún siendo no metálicos, difieren bastante en su capacidad para atraer el par de electrones compartidos (tendencia denominada electronegatividad).

A.43. Al introducir moléculas gaseosas de cloruro de hidrógeno (HCl) en un campo eléctrico (Fig. 2), se constata la orientación de las moléculas como se ve en el gráfico. Siendo así que el enlace entre los átomos de H y de Cl es covalente, ¿cómo se puede interpretar este hecho?

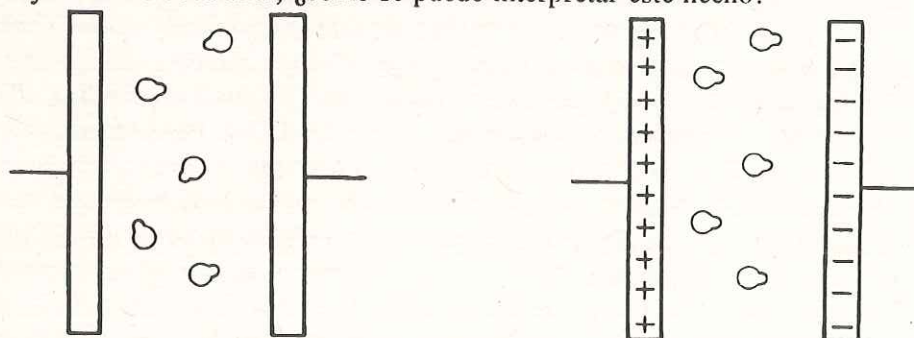


Figura 2



A.44. Explicar si se presentará enlace covalente polar en las moléculas de HF y H₂O.

A.45. Resumir las características fundamentales del enlace covalente.

Veamos si el modelo de enlace covalente propuesto es capaz de interpretar algunas de las propiedades analizadas anteriormente en sustancias que tienen estos enlaces.

A.46. A partir del modelo dado para el enlace covalente, justificad la ausencia de conductividad eléctrica que presentan las sustancias con enlaces covalentes.

A.47. Justificad cualitativamente los puntos de fusión y de ebullición que pueden presentar las sustancias con enlaces covalentes.

4.5. Iniciación al enlace metálico

Los metales poseen propiedades particulares que todos conocemos, tales como su gran conductividad del calor y de la electricidad, su brillo peculiar, se deforman fácilmente a temperaturas elevadas, etc... Trataremos a nivel elemental cómo es la unión entre átomos metálicos iguales que expliquen estas propiedades.

A.48. Indicar desde el punto de vista electrónico de la capa de valencia, cuál es la característica general de los átomos de los metales como, por ejemplo, el Na, el Ca, el Al y el Fe.

A.49. Exposición por el profesor de un modelo elemental para un cristal metálico.

A.50. Justificad con el modelo de unión entre átomos metálicos que los metales sean grandes conductores de la electricidad.

Comentarios al apartado 4.5

En esta iniciación al enlace metálico se plantea el problema en A.48 con el fin de extraer en una primera visión que los átomos de los metales se caracterizan por la presencia de muy pocos electrones en su capa de valencia y de ahí la imposibilidad de justificar su unión con los mecanismos antes citados, por lo que hará falta introducir por el profesor el modelo de gas electrónico en A.49, destacando como principal característica del nuevo tipo de enlace metálico la deslocalización electrónica que podrá justificar en A.50 la gran conductividad eléctrica en estado sólido. También conviene plantear las diferencias fundamentales en las explicaciones de la conductividad eléctrica en un sólido metálico y la de los compuestos iónicos en estado fundido, ya que en el primer caso la conducción se lleva a efecto por los mismos electrones deslocalizados, mientras en el segundo lo es por los propios iones como átomos cargados que se desplazan.

5. LAS UNIONES ENTRE MOLECULAS

Se ha indicado al estudiar el enlace covalente que, en general, las sustancias cuyas partículas tenían un número limitado y pequeño de enlaces, formaban moléculas siendo las interacciones entre estas muy débiles. De ahí que los puntos de fusión y ebullición de estas sustancias fueran generalmente bajos. No obstante, es también evidente que estas sustancias se presentan, como todas, no sólo en estado gaseoso sino, también, líquidas y si se baja suficientemente la temperatura pasarán al estado sólido. Ello se debe justificar mediante la introducción de nuevos tipos de enlace.

A.51. ¿Cómo justificar la existencia de los tres estados de agregación en el caso de sustancias con enlaces covalentes?

A.52. ¿Cómo se puede explicar que a la temperatura ambiente y presión ordinaria el yodo sea sólido, el agua líquida y el oxígeno gaseoso?

A.53. Exposición por el profesor de la existencia de fuerzas intermoleculares en las sustancias agregadas.

Comentarios al apartado 5

Aunque se han elegido las sustancias con enlaces covalentes (donde se ha justificado la existencia de moléculas) para introducir las uniones intermoleculares, debe quedar explícito que estas fuerzas intermoleculares o de van der Waals son, generalmente, débiles pero están extendidas universalmente gracias a la constitución electrónica de todas las partículas unidas. En particular, en A.51 se presenta el problema al intentar justificar los estados de agregación en sustancias con enlaces covalentes; en A.52 se inicia la reflexión sobre la dependencia de estas energías de enlace así como de su tamaño, si bien no se entra a diferenciar los distintos tipos de uniones intermoleculares (puentes de hidrógeno, van der Waals, etc...). Finalmente en A.53 se expondrá por el profesor, en forma breve, la justificación de la existencia de fuerzas intermoleculares a través del modelo de dipolos inducidos.

6. FORMULACION DE ALGUNOS COMPUESTOS BINARIOS Y TERNARIOS

Vistos los tipos de enlaces químicos que pueden darse entre los átomos de los diferentes elementos conocidos, conviene ahora que nos familiaricemos con la formulación de compuestos químicos, iniciando el estudio de los casos más sencillos como son los binarios, es decir, por aquellas sustancias que sólo contienen dos clases de átomos diferentes pertenecientes a dos elementos. Con posterioridad se extenderá la formulación a unos pocos compuestos ternarios (con átomos de tres elementos distintos).

- A.54. Buscad algún algoritmo sencillo para poder deducir la fórmula de un compuesto binario, explicando el tipo de enlace que podemos encontrar en esta sustancia.
- A.55. Indicar qué compuestos de los citados a continuación pueden considerarse iónicos y cuáles con enlaces covalentes. A continuación, estableced sus fórmulas y deducid, en el primer caso, los iones que lo forman y, en el segundo, la estructura de guiones: -óxido de litio; -cloro gaseoso; -sulfuro potásico; -dióxido de carbono; -fluoruro de hidrógeno.
- A.56. Los números atómicos del Sr y del S son respectivamente 38 y 16. A partir de estos datos deducir:
- 1) sus estructuras electrónicas de la capa de valencia,
 - 2) dada una silueta vacía del Sistema Periódico, situar ambos elementos en el lugar que creéis deben ocupar y decir el grupo y período al que pertenecen,
 - 3) los iones que cabe esperar de cada uno de estos átomos,
 - 4) la fórmula del posible compuesto que puede formar el Sr con el oxígeno, indicando si será iónico o con enlaces covalentes,
 - 5) la fórmula del posible compuesto que puede formar el S con el cloro, indicando si será iónico o con enlaces covalentes.
- A.57. Formulad las combinaciones del oxígeno con los siguientes elementos: S, Mg, Cl, N y Al. Según lo que proceda indicar los iones esperados o las estructuras de Lewis.
- Pasemos a continuación a formular algunos compuestos ternarios como los hidróxidos y los ácidos, aunque su comportamiento fenomenológico será tratado en el capítulo siguiente.
- A.58. Antiguamente se había comprobado que algunos óxidos se combinaban con el agua, formando hidróxidos (también llamados bases o álcalis), así por ejemplo la cal viva (CaO) se convertía en cal apagada (hidróxido de calcio) al combinarse con el agua, según:
- $$\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \text{ -----} > \text{Ca(OH)}_2\text{(aq)}$$
- Explicar los tipos de enlace existentes en la fórmula química del hidróxido de calcio.
- A.59. Sabiendo que las bases o hidróxidos son combinaciones de un metal con los iones hidróxido (OH⁻), indicad como se pueden obtener las fórmulas de los hidróxidos de Na, Li, K, Rb, Mg, Ba, Sr, Al, Fe(II) y Fe(III).
- A.60. También era conocido que los óxidos de los no metales al combinarse con el agua daban reacción ácida. Ello se interpretaba indicando que se producía, por ejemplo en el caso del SO₂, la siguiente reacción: SO₂(g) + H₂O(l) -----> H₂SO₃

y a esta última e hipotética sustancia se le llamó ácido sulfuroso. Tratar de obtener por este procedimiento las fórmulas de los ácidos carbónico, sulfúrico, nítrico, nitroso, cloroso, hipocloroso, clórico y perclórico.

Comentarios al apartado 6

Ante el problema de la formulación de compuestos químicos caben varias soluciones curriculares: La escogida en nuestro caso ha consistido en su introducción gradual, una vez concluida la fundamentación de las teorías del enlace químico, y para ello se empieza con la formulación de los compuestos binarios y aunque también se han incluido la de algunos ternarios (ácidos y bases), creemos que se debe insistir nuevamente cuando se estudie la descriptiva de los diferentes tipos de procesos químicos. No obstante, opinamos que la formulación tiene sentido como síntesis del conocimiento químico de las sustancias y, en consecuencia, debe introducirse sin pretender exhaustivos y, a ser posible, con una presentación y manipulación físicas de estas sustancias con el fin de adquirir unos mínimos conocimientos sobre las mismas. Ahora bien, con la finalidad de sistematizar al máximo este estudio se plantea la A.54, en la que la primera regla del algoritmo que se proponga consistirá en extraer el tipo de enlace existente entre los átomos unidos según su pertenencia al conjunto de metales y de los no metales, respectivamente. A continuación, se podrá, proponer las siguientes reglas según correspondan estas uniones al tipo de enlace iónico o covalente, según lo tratado en los apartados 4.2, 4.3 y 4.4 precedentes. Se plantea, pues, este estudio como una síntesis del estudio de las teorías del enlace químico que se aplica en propuestas concretas de compuestos binarios en A.55 y en las que el alumno puede disponer de una tabla periódica que puede consultar para su solución. En A.56 se extrema el poder predictivo del cuerpo teórico estudiado en un ejemplo donde se barre el conjunto de los estudios llevados a cabo, desde el concepto de átomo y su situación en la tabla periódica hasta la composición del posible compuesto que pueden formar los elementos que se citan, una vez obtenido se puede ir a la bibliografía química para ver en qué medida se ha acertado o, simplemente, se indica por el profesor. Ya en A.57 se centra la atención en las combinaciones iónicas o covalentes del oxígeno con varios elementos con el fin de introducir los óxidos metálicos y no metálicos (anhidridos). La secuencia continua siguiendo al proceso histórico con la formulación de las bases (A.58) y de los ácidos (A.59); aunque en el caso de los hidróxidos también se hace a partir de los iones como se indica en las normas de formulación internacional, dado que parece que sea más fácil su comprensión por los alumnos (A.59). No obstante, se recomienda su reiteración en la parte del tema correspondiente a reacciones químicas.

7. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- A.61. Antiguamente se utilizaban pucheros de cobre para cocinar y, sin embargo, las sales de cobre (II) son muy tóxicas. ¿Cómo se puede justificar esta diferencia de comportamiento desde el punto de vista electrónico?
- A.62. El agua es el disolvente por excelencia de la mayor parte de las sustancias con enlaces iónicos y, sin embargo, los enlaces entre sus átomos son de carácter covalente. Explica esta aparente contradicción.
- A.63. La cal viva (CaO) es empleada para encalar las fachadas de las casas y para ello se disuelve con cuidado en agua, produciéndose lechada de cal (cal apagada). Con esta papilla se impregna la pared que se desea pintar y se deja secar. ¿Cómo es posible que la lluvia no vuelva a disolver la cal de la pared?
- A.64. Supongamos que se pudiera realizar el siguiente experimento imaginario: se aísla un cristal de hielo y se calienta paulatinamente hasta que su temperatura fuera la de la superficie del sol. Predecid los cambios que irían ocurriendo en esta sustancia a medida que se eleva su temperatura y explicadlos con las teorías del enlace que se han estudiado en este capítulo.

CAPITULO 13

REACCIONES QUIMICAS

INDICE

1. Concepto de reacción química.
 - 1.1. ¿Qué es y cómo tiene lugar una transformación química?
 - 1.2. Expresión simbólica y balance de una reacción química.
2. Cambios materiales. Estequiometría.
3. Reacciones ácido-base.
 - 3.1. Características experimentales de los ácidos, bases y reacciones ácido base.
 - 3.2. Interpretación del carácter ácido-base. (Teoría de Arrhenius).
 - 3.3. Fuerza relativa de los ácidos.
4. Reacciones de oxidación-reducción.
 - 4.1. Concepto de oxidación-reducción.
 - 4.2. Estado de oxidación. Su obtención.
 - 4.3. Pilas. Electrólisis.

INTRODUCCION

En capítulos precedentes se ha estudiado el establecimiento de la teoría atómico-molecular de la materia cuya conclusión esencial venía a indicar la existencia de los átomos en todas las sustancias. Posteriormente, ya en el marco de la física moderna, se ha justificado la estructura interna de los átomos así como las razones que explican su unión en partículas mayores mediante las teorías del enlace químico. Falta, ahora, profundizar en el estudio de las reacciones químicas de las sustancias para contestar a la cuestión básica: ¿Cómo tiene lugar un proceso químico?. Así pues, este capítulo comienza con el estudio de un modelo elemental para las reacciones químicas que guiarán nuestras ideas en el estudio de los cambios materiales producidos en una reacción química. En el presente capítulo se dedican los dos últimos apartados para iniciar el estudio de dos tipos de reacción fundamentales en química: las reacciones de ácido-base y las de oxidación-reducción claves para la comprensión de los fenómenos químicos tanto a nivel de industria como de laboratorio. Otros aspectos interesantes de las reacciones, tales como el estudio de los intercambios energéticos o el de la rapidez con que se realizan sólo se comentarán superficialmente dejándolas como nuevas líneas de investigación que serán abordadas en cursos superiores.

1. CONCEPTO DE REACCION QUIMICA

En este apartado comenzaremos por conocer el significado de una reacción química (un modelo elemental de reacción), tanto desde el punto de vista fenomenológico como desde el punto de vista de su interpretación conceptual. Finalmente se comentará como se expresan las reacciones por los químicos.

1.1 ¿Qué es y cómo tiene lugar una transformación química?

A.1. ¿Qué entiendes por reacción química?. Pon ejemplos de reacciones químicas que conozcas.

A.2. ¿Qué aspectos estudiarías de las reacciones químicas para profundizar en su comprensión?.

Comentarios A.1 y A.2

El presente apartado tiene como objetivo que el alumno tenga una idea clara de lo que es una reacción química como transformación de unas sustancias en otras; que aspectos debemos estudiar de las reacciones y cuales son las diferencias fundamentales entre una reacción y un proceso físico en general. Con frecuencia los alumnos confunden una reacción química con un proceso físico como puede comprobarse por ejemplo con la ebullición del agua o la combustión de una vela (Carbonell y Furió, 1987). Este error conceptual está asociado a la dificultad que tienen para asignar propiedades características a las sustancias. En efecto, los alumnos se guían por criterios superficiales (cambios de color, producción de gases, etc.) a la hora de decidir si un cambio ha sido físico o químico habrá que incidir en hacerles cambiar de criterio aproximándoles a aquel que contrasta las propiedades características de las sustancias obtenidas con las de las sustancias iniciales. En A.2 el objetivo es que los alumnos vean que se puede analizar una reacción química desde distintos puntos de vista, como el energético, el cinético y el de los cambios materiales en una reacción. En este capítulo sólo se profundiza en el último aspecto mencionado.

A.3. El metano (CH_4) es un componente básico del gas natural. Cuando lo quemamos con oxígeno se producen dos sustancias nuevas: dióxido de carbono y vapor de agua. Escribe las estructuras de Lewis de los reaccionantes y productos y establece, a nivel de hipótesis, como se ha producido esta reacción entre las moléculas de metano y de oxígeno del aire.

A.4. Tenemos la reacción siguiente: $\text{I}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2 \text{HI}(\text{g})$. Indica a título de hipótesis que condiciones deben cumplirse para que una molécula de I_2 y otra de H_2 reaccionen para dar dos moléculas de HI.

A.5. La reacción de la A.3, similar a otras muchas conocidas como la combustión del butano, tiene lugar desprendiendo energía (se les llama reacciones exotérmicas); sin embargo otras reacciones necesitan para producirse que se les aporte energía normalmente calentando (se les llama reacciones endotérmicas). Justifica porqué se produce intercambio energético en las reacciones químicas.

Comentarios A.3, A.4 y A.5

Las dos primeras actividades de este apartado tienen como objetivo poner de manifiesto al alumno que toda reacción supone la ruptura y nueva formación de enlaces. En A.4 además debe introducirse a nivel cualitativo la idea de que para romper un enlace hace falta un choque con cantidad de energía suficiente para romper el (los) enlaces de las partículas de los reaccionantes. Mediante el estudio del balance energético de la ruptura y nueva formación de enlaces, puede introducirse la clasificación de las reacciones en exotérmicas y endotérmicas. Una primera consideración en esta clasificación consiste en centrar la atención del alumnado en la necesidad o no de aportar continuamente energía para que prosiga el proceso, dejando de lado lo que se hace para iniciar la reacción. Es fácil observar como algunos alumnos llegan a la conclusión de que muchos procesos exotérmicos, como por ejemplo la combustión del butano, son considerados endotérmicos debido a que se aplica una cerilla encendida para que se inicie el proceso.

Hemos visto que una reacción trae consigo intercambio energético con el medio. Debemos preocuparnos ahora a nivel muy cualitativo por la velocidad de una reacción y los factores de que dependen.

A.6. ¿Qué significa para ti velocidad de una reacción? Pon ejemplos de reacciones rápidas y lentas.

A.7. ¿De qué factores dependerá la mayor o menor rapidez de una reacción según el modelo estudiado?. Explica razonadamente que podríamos hacer para variar la velocidad de los siguientes procesos químicos según lo que convenga:

- Quemar rápidamente un trozo de leña
- Mejorar la conservación de un alimento.
- Limpiar el suelo con salfumante sin que lo ataque mucho.

Comentarios A.6 y A.7

En A.6 se trata de comentar, también a nivel cualitativo, un concepto de velocidad de reacción como la rapidez con que cambia la composición de un sistema químico. Como no se pretende introducir la definición operativa de este concepto, se puede simplificar el problema a nivel molecular considerando que

sólo cambia la naturaleza de las partículas (es decir, que no varían ni el volumen ni el número de partículas producidas en relación a las que había inicialmente) con el tiempo.

Una breve profundización en el concepto de choque eficaz permitirá en A.7 predecir la influencia de los principales factores que afectan a la velocidad de una reacción: Concentración de los reaccionantes, temperatura y superficie de reacción en sistemas heterogéneos.

1.2 Expresión simbólica y balance de una reacción química.

Hemos descrito hasta el momento que es una reacción química y bajo que aspectos fundamentales se puede analizar una reacción. Tenemos que preocuparnos ahora por encontrar una expresión simbólica que sea cómoda, que aporte toda la información fundamental de una reacción.

A.8. Indica qué es lo que cambia y qué es lo que permanece en un proceso químico según nuestra idea de reacción.

A.9. Lleva a cabo las reacciones químicas siguientes en el laboratorio e indicar cómo las representarías:

- Quemar magnesio.
- Atacar el mármol con sulfumante (se desprende gas carbónico y se obtiene una disolución de cloruro de calcio).
- Reacción entre el sodio y el agua.

Comentarios A.8 y A.9

En A.8 se pretende que el alumno preste atención al análisis de lo que cambia y lo que permanece a nivel fenomenológico (naturaleza y masa respectivamente) y a nivel conceptual (distribución de los átomos en sustancias y cantidad de cada tipo de átomo respectivamente). Para ello se utilizará el modelo desarrollado de reacción como ruptura y formación de enlaces nuevos que no modifican ni la masa total de las sustancias ni la cantidad de átomos que intervienen. Los cambios percibidos serán consecuencia del cambio de sustancias que tienen lugar en la reacción.

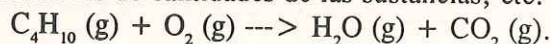
Como consecuencia de lo indicado pasaremos a representar una reacción química en base a esquemas de reacción que incluyan los aspectos más importantes de la misma. El primer paso será representar adecuadamente las sustancias que intervienen (reaccionantes) así como las que se producen (productos) mediante fórmulas que conviene resaltar que representan de modo unívoco a una sustancia determinada y que cualquier cambio en sus sub-índices o átomos se corresponden con un cambio en el tipo de sustancia y en sus propiedades.

A.10. Teniendo en cuenta lo que permanece constante en una reacción. ¿Cómo establecerías el ajuste de una reacción química?. Aplícalo a los casos vistos anteriormente.

A.11. Representa adecuadamente las reacciones siguientes:

- a) Hierro + Oxígeno \rightarrow Óxido de hierro (III)
- b) Combustión del propano (C_3H_8) \rightarrow Agua + Gas carbónico
- c) Ácido sulfúrico (aq) + Hidróxido de potasio (aq) \rightarrow Sulfato potásico (aq) + Agua.
- d) Nitrato de plata (aq) + Cloruro de sodio (aq) \rightarrow Nitrato de sodio (aq) + Cloruro de plata (precipitado).
- e) Carbonato Cálcico \rightarrow Óxido de Calcio + Dióxido de Carbono(g).

A.12 Ajustar la reacción y explicar con detalle la información que nos proporciona: Significado de los símbolos, relaciones de cantidades de las sustancias, etc.



Comentarios A.10, A.11 y A.12.

En A.10 se plantea el problema del ajuste de las reacciones químicas. Merece destacar como uno de los aspectos de mayor interés de una reacción (y que consecuentemente debe constar en nuestra representación de las reacciones) las relaciones entre las cantidades (moles) de las sustancias que se combinan y a partir de ahí, en que proporción reaccionan en masa y en volumen, así como las que se obtienen.

El ajuste se planteará como una consecuencia lógica de una conservación del número de átomos de

cada elemento en una reacción química manteniendo, como es lógico, las proporciones de cada átomo en cada una de las sustancias que reaccionan y se producen. Con frecuencia los alumnos cambian los sub-índices de las fórmulas de las sustancias en aras a la conservación de los átomos en una reacción.

Asimismo es de gran importancia resaltar el carácter de relación o proporción de los coeficientes estequiométricos de una reacción mostrando la validez de los mismos para cualquier cantidad de reaccionantes que intervengan en un proceso.

2. CAMBIOS MATERIALES. ESTEQUIOMETRIA.

De todos los aspectos importantes que se presentan en una reacción química, durante el presente curso profundizaremos exclusivamente en los cambios materiales que se producen al pasar los reaccionantes a productos. La estequiometría es la parte de la química que estudia las relaciones entre cantidades de sustancias (moles) que reaccionan y que se obtienen, así como las proporciones de masa y volumen de aquellas. Su importancia es fundamental tanto en el análisis químico como en la industria.

- A.13.** Necesitamos obtener una determinada cantidad de una sustancia a partir de una reacción conocida. ¿Cómo lo haríamos?
- A.14.** Indica cual es la información que puedes obtener sobre las cantidades de reactivos necesarios y de productos obtenidos al quemar 100 g de metano (CH_4).
- A.15.** Cuando el mármol (carbonato cálcico) se hace reaccionar con ácido clorhídrico se obtiene cloruro cálcico, agua y dióxido de carbono (gas). Si hacemos reaccionar 500 g de mármol. a) ¿Qué masa de cloruro cálcico se obtiene?. b) ¿Qué volumen de dióxido de carbono se tiene medido en c.n.? c) ¿Qué cantidad de agua?
- A.16.** El potasio reacciona con el agua desprendiendo hidrógeno y formando KOH disuelto: a) ajusta la reacción; b) si reaccionan 20 g de potasio, ¿cuántas moles de H_2 se obtienen?; c) ¿qué volumen ocupará este gas a 20°C y 1 atm.?
- A.17.** Dispongo de una botella de oxígeno cilíndrica de 30 cm de diámetro de la base y 2m de altura. El gas está a 200 atm y 20°C . Calcular la masa de decano ($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$) (sustancia que forma parte de la gasolina) que puede quemarse con este oxígeno. ¿Cuántos moles de dióxido de carbono se obtendrán?
- A.18.** Se mezclan 5 litros de oxígeno con 5 de hidrógeno, medidos ambos en c.n. Si se hacen reaccionar: a) ¿Cuántos moles de agua se obtienen?, b) ¿cuántas moles de reactivo quedan sin reaccionar?
- A.19.** Se desea hinchar un globo con hidrógeno producido en el laboratorio por reacción química del zinc con cloruro de hidrógeno 2M. Diseña un experimento para obtener 2 litros de hidrógeno y, posteriormente, procede a su realización.
- A.20.** En una cocina de 2'5 x 3 x 3 m se deja encendido el hornillo de gas ciudad hasta quemar 2 m^3 de gas ciudad (40 % de CH_4). ¿Cuánto se habrá humedecido la cocina?
- A.21.** Se derrama una botella de litro de sulfuro de carbono en el suelo de mármol del lavabo. ¿Cuánto mármol desaparecerá?
- A.22.** La salida de los gases de combustión del calentador de butano de un cuarto de baño se halla taponada. Una persona entra a ducharse y no se da cuenta de ello. ¿se asfixiará o no?.
- Plantea de forma mas precisa el problema.
 - Emite hipótesis respecto de qué dependerá que se asfíxe o no esta persona e indica las posibles formas de resolver el problema.

Comentarios A.13, a A.21,

Todas las actividades planteadas en este apartado de estequiometría presuponen que los alumnos conocen, comprenden y recuerdan los conceptos de cantidad de sustancia y su unidad la mol, su relación con la masa de las sustancias, con el volumen de los gases y con la molaridad de las disoluciones. Aunque todo esto se ha dado previamente en este o en capítulos anteriores es muy conveniente proponer alguna actividad de recuerdo, sobre todo en el concepto de mol dadas las dificultades intrínsecas para los alumnos de este nivel como bien se indica en la bibliografía (Dieks, 1981; Rowell y Dawson 1980; Gabel y Sherwood, 1986).

Las diez actividades presentadas en este apartado pueden dividirse en tres ámbitos de interés. Las tres primeras actividades A.12, A.13 y A.14 tienen como objetivo básico el que los alumnos se planteen que información puede obtenerse de una reacción química a nivel de cantidad de sustancia que reaccionan o se produce.

Las actividades A.15, A.16, A.17, A.18 y A.19 son «clásicas» como aplicación de los cálculos elementales estequiométricos y en ellas se han diversificado las situaciones para que intervengan sólidos, gases y disoluciones.

El tercer grupo de actividades A.20, A.21 y A.22 son actividades problema que se apartan del típico ejercicio de aplicación y donde se puede ejercitar un aprendizaje de la metodología científica que comenzará por plantearse el problema ya que «lo que se pide» se presenta ambiguamente. Asimismo, se ha procurado, en estas actividades, que el problema planteado sea próximo a su entorno con objeto de aumentar la motivación del alumnado.

Más en concreto, veamos la solución de la A.22. Esta actividad planteada como problema provoca entre los alumnos una actitud positiva hacia su resolución debido a su estrecha relación con la vida ordinaria. Si bien habrá que indicar que la actual legislación no permite la instalación de quemadores de butano en el interior de las habitaciones precisamente por la existencia (entre otros) del peligro apuntado en el problema.

La resolución de este «enigma» comienza en su fase de planteamiento cuando el alumno tiene que operativizar la pregunta. Esta fase, una de las más difíciles de la metodología de investigación, favorece el pensamiento divergente de los alumnos y, prueba de ello, son las diferentes formas en que se puede plasmar la cuestión planteada. Así mientras una versión puede hacer la pregunta de la forma, ¿Cuánto tiempo tardará en agotarse el oxígeno del aire del baño? que supone resolverlo aplicando no solo conceptos de estequiometría, sino también de cinética química. Otra versión puede quedar como problema estequiométrico si se formula simplemente: ¿Cuánto butano se habrá de quemar para consumir el oxígeno del baño?. El planteamiento del problema implica también su análisis así como la determinación de condiciones, suposiciones o limitaciones del problema que permitirán reducir la ambigüedad del mismo pero que, al mismo tiempo, condiciona su solución. Es decir se supondrá que el baño es una habitación octoédrica, que está hermética y que tiene un porcentaje normal de oxígeno a la presión y temperatura ambientales. Otras condiciones que se pueden considerar para simplificar más el problema consiste en no tener en cuenta el oxígeno respirado por la persona, etc.

Una vez planteado el problema en una de sus distintas formas se trata ahora de explicitar de qué depende (emisión de hipótesis). Si el problema es el cálculo de la cantidad de butano necesario para agotar el oxígeno del baño (se desprecian los cambios de presión y temperatura de los gases). Todo ello orientará hacia las estrategias de resolución que pasarán necesariamente por las relaciones estequiométricas de combinación de estos gases y por el conocimiento del oxígeno contenido en el volumen de la habitación.

El análisis del resultado obtenido confirma la hipótesis emitida y puede ahora darse la solución del problema como: «Si el butano quemado es igual al calculado el bañista no tendrá oxígeno para respirar y, en consecuencia, posteriormente se asfixiará. Por supuesto que puede complicarse más el problema, pero una vez fijadas las nuevas condiciones se podrá llegar a otra solución que convendrá analizar. Llegada a esta fase se puede proceder a su cuantificación numérica que fácilmente resuelven los alumnos, al propio tiempo que adquieren significación química estos valores. (Reyes y Furió, 1990)

A continuación y dado que se están estudiando las reacciones químicas nos detendremos en la descripción e interpretación de dos tipos de reacciones de enorme interés para tener un mayor conocimiento químico del mundo que nos rodea. Nos referimos a las reacciones ácido-base y a las de oxidación-reducción.

3. REACCIONES ACIDO-BASE.

Las reacciones de ácido-base junto con las de oxidación-reducción son dos tipos de reacciones muy importantes en química. Realizaremos a continuación un breve estudio descriptivo de las mismas.

3.1 Características fenomenológicas de los ácidos, bases y reacciones ácido-base.

- A.23. Todos hemos mencionado alguna vez la palabra ácido o base. Pon ejemplos de productos o de sustancias que conozcas que tengan carácter ácido, carácter básico o sean neutros.
- A.24. Enumerad algunas propiedades que puedan servir para clasificar experimentalmente una sustancia o un producto como ácido o como base y comprobarlo experimentalmente.
- A.25. Determinad el carácter ácido o básico de las siguientes disoluciones: vinagre, disolución de bicarbonato, lejía, sulfumante, jabón y otros productos que el profesor pueda proporcionar.
- A.26. Los colorantes de las flores (rosas, claveles) son indicadores ácido-base. Preparad una disolución de los mismos en etanol y comprobadlo.
- A.27. Exponed como se puede comprobar experimentalmente que una disolución ácida puede ser neutralizada por otra básica. Llevad a cabo dicha experiencia en el laboratorio.

Comentarios al apartado 3.1.

Se pretende con este grupo de actividades que el alumno adquiera un conocimiento de carácter fenomenológico de las características de los ácidos, las bases y las reacciones de neutralización. Para ello se utiliza cuando es posible sustancias conocidas por los alumnos en su medio ambiente.

En A.24 los ácidos y las bases que se presentan a los alumnos para su manipulación deben tener las características claras con objeto de que los alumnos, en la primera fase, puedan definir las características ácido-base sin problemas y con nitidez. Posteriormente en A.25 se dan las propiedades de un conjunto de productos conocidos al objeto de verificar dichas propiedades.

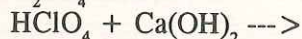
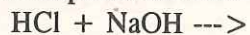
En la A.27 se puede plantear como modelo de neutralización la reacción entre el hidróxido de bario y el ácido sulfúrico al obtenerse, en la reacción ácido-base, un precipitado de sulfato de bario, la conductividad de la disolución disminuye bruscamente en el momento de la neutralización y permite poner de manifiesto este tipo de reacción de un modo claro por una sencilla medida de conductividad. También puede utilizarse el colorante obtenido en A.26 para observar el punto final de la neutralización.

3.2 Interpretación del carácter ácido-base. Teoría de Arrhenius.

Una vez conocidas las propiedades de los ácidos y las bases, debemos preguntarnos por las causas que ocasionan que una sustancia sea ácida o básica. Parece lógico pensar que la acidez o basicidad es debida a algún átomo o agrupación de átomos que están en las moléculas o iones y que son los responsables de estas propiedades. Así, Lavoisier consideraba que la acidez era consecuencia de la presencia de átomos de oxígeno en una sustancia. Más tarde, Davy responsabilizó de la acidez a los hidrógenos lábiles presentes en la molécula. En esta búsqueda del carácter ácido-base de las sustancias nos dedicaremos solamente a sus disoluciones en agua.

- A.28. Tenemos disoluciones acuosas de las sustancias siguientes: HF, HClO₄, H₂SO₄ y HNO₃ que tienen carácter ácido. Indicad cual crees que puede ser la causa de que presenten carácter ácido.
- A.29. ¿Cómo comprobarías el papel fundamental del agua en la disociación de los ácidos?. Aplícalo al caso del ácido acético glacial (casi puro) y de su disolución acuosa diluida.
- A.30. Tenemos disoluciones acuosas de las sustancias siguientes: NaOH, Ca(OH)₂ y KOH. Indicad cual pensáis que puede ser el motivo del carácter básico de estas sustancias.
- A.31. Teniendo presente las explicaciones dadas al carácter ácido y básico, proponed una interpretación de la neutralización.

A.32. Completad las reacciones de neutralización de las disoluciones acuosas que a continuación se indican:



A.33. Explicación por el profesor de las limitaciones de la teoría de Arrhenius.

A.34. Disolvemos en agua las sustancias siguientes: HBr, KOH, HClO, HClO₃, KCl, Ba(OH)₂, HI, Na₂SO₄. Indica qué aniones y qué cationes pueden existir en la disolución. Justificad con la teoría de Arrhenius que disoluciones son ácidas y cuales son básicas.

A.35. En varios vasos de agua añadir: a) Gotas de ácido sulfúrico b) sulfumante, c) Amoníaco, d) Lentejas de NaOH, e) Cristales de CaO. Comprueba, con indicadores, si son ácidas o básicas las disoluciones y escribe las disociaciones y reacciones que han podido tener lugar.

Comentarios al apartado 3.2.

Es importante resaltar que en las actividades anteriores se plantea por primera vez el problema de la disociación en agua. En consecuencia, deberemos resaltar que ocurre con las sustancias iónicas cuando se disuelven en agua como es el caso de los ácidos y las bases indicadas. Así por ejemplo, cuando un ácido se disuelve en agua se rompe el enlace covalente que mantenía enlazado al hidrógeno con el resto de ácido. Evidentemente no tenemos en cuenta en este sencillo análisis que algunos ácidos no existan en estado puro como tales. Con mucha frecuencia los alumnos consideran que la unión del H con las moléculas que potencialmente pueden actuar como ácidos es de tipo iónico por asociación de ideas con el grupo hidróxilo de las bases. Conviene, pues, resaltar el importante papel del agua y asimismo mencionar el proceso de disolución de las sales y, en general, de cualquier compuesto iónico en el agua. En el caso de A.29 puede diseñarse un experimento que nos permita medir las conductividades del ácido acético glacial y de su disolución acuosa cuyo resultado será un indicio del papel del agua.

El presente apartado tiene como objetivo, además de lo ya mencionado en el apartado anterior, el que los alumnos distingan con claridad entre una sustancia que sea ácida, básica o neutra a partir de los iones que producen al disolverse en agua. Queda para cursos posteriores la teoría de Brønsted-Lowry así como una interpretación adecuada de los fenómenos de hidrólisis aunque estos puedan interpretarse a partir de la teoría de Arrhenius.

3.3 Fuerza relativa de los ácidos y de las bases.

En el apartado anterior se ha interpretado el carácter ácido o básico de las sustancias químicas en disolución, queda por plantear el problema de comparar la fuerza ácida o básica de las distintas sustancias.

A.36. Proponed algún criterio que permita comparar la fuerza relativa de los ácidos, es decir, saber si un ácido es más fuerte que otro.

A.37. Diseñad experiencias de laboratorio para ordenar los ácidos según su fuerza relativa. Aplicarla a los siguientes: Sulfúrico, nítrico y acético.

A.38. Explicación por el profesor de la fuerza de los ácidos y su relación con las características estructurales de los ácidos más fuertes.

Comentarios A.36, A.37 y A.38.

Se pretende que los alumnos a partir de la propiedad de los ácidos de desplazar a las sales de ácidos más débiles, puedan establecer una escala de fuerza de los ácidos a nivel cualitativo. Ello obliga a plantearse el carácter reversible de las reacciones ácido-base y del equilibrio químico y a dejar el camino abierto para los conceptos de ácido-base conjugados de la teoría de Brønsted-Lowry. Debe insistirse que la comparación entre las fuerzas de los ácidos y las bases se ha hecho considerando siempre que el disolvente es el agua y que esta sustancia juega un importante papel en este marco teórico (Arrhenius). Por supuesto que si se cambia el disolvente lo establecido carecería de fundamento, de ahí que no se deba absolutizar el carácter ácido o básico a una sustancia.

En A.39 se relacionará a nivel cualitativo la fuerza de los ácido oxácidos con la acumulación de

oxígenos en la molécula (enlazados mediante covalente dativo) comparando series de ácidos como: Hipocloroso, cloroso y perclórico; sulfuroso y sulfúrico; nitroso y nítrico; etc.

Terminamos este apartado planteando la formulación de sales terciarias que no habíamos visto en el tema de enlace químico porque necesitábamos conocer previamente la disociación de los ácidos. Es preciso recordar aquí que las sustancias iónicas, al igual que todas las demás son eléctricamente neutra y, en consecuencia, al disociarse sus iones en una disolución deberá cumplirse que la suma de las cargas negativas de los aniones y las positivas de los cationes resultantes sea nula. Así pues, como la fórmula empírica de una sal será, en definitiva, la mínima asociación de iones positivos y negativos, habrá que conocer la carga de estos iones implicados en la sal.

A.39. Escribid y nombrad los aniones que se forman cuando se disuelven en agua los ácidos siguientes: Sulfúrico, Sulfuroso, Carbónico, Nítrico, Nitroso, Perclórico, Brómico y Acético.

A.40. Formular las sales siguientes: Sulfato de aluminio, Perclorato de hierro (III), Nitrito de cobre (II), Carbonato de sodio, Bromato de calcio, Acetato de plomo (II), Nitrato de aluminio.

A.41. Nombra las sales siguientes: KBrO_3 , FeSO_4 , PtCO_3 , K_2CO_3 , $\text{Mg}(\text{ClO}_4)$, $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Comentarios A.39, A.40 y A.41.

Las actividades 39, 40 y 41 plantean la formulación de compuestos ternarios. Hasta aquí solamente se había planteado en el tema de enlaces la formulación de compuestos binarios. La que ahora se plantea pretende exclusivamente dar a conocer la formulación de los ácidos oxácidos de mayor importancia y, posteriormente, plantear la de algunas sales terciarias. Como puede observarse se descarta cualquier planteamiento exhaustivo de este tema por considerarlo inadecuado a estos niveles.

4. REACCIONES DE OXIDACION-REDUCCION.

El segundo gran grupo de reacciones de reacciones que debemos estudiar son las reacciones de oxidación-reducción. A este tipo de reacciones pertenecen las combustiones para producir energía, los procesos de obtención de metales, los fenómenos de corrosión metálica, las pilas y las baterías eléctricas y los tratamientos electrolíticos. Su importancia no es tan solo práctica sino también teórica. A partir de su estudio se establecieron los primeros indicios de la relación existente entre la electricidad, la estructura química y el enlace químico.

A.42. ¿Qué entiendes por oxidación y por reducción?. Pon ejemplos de ambas reacciones.

A.43. Escribid las reacciones que tienen lugar en la oxidación del hierro metálico a óxido ferroso y en la combustión del carbono a dióxido de carbono. Indicar si son reacciones de oxidación o de reducción.

A.44. Si calentamos al rojo óxido de plomo (II) con carbón en polvo se obtiene plomo metálico. Algo similar ocurre en un alto horno al calentar el óxido de hierro (III) con carbón y obtener hierro metálico. Escribe las reacciones que tienen lugar e interpreta si son de oxidación o reducción.

A.45. Muchas reacciones entre metales y no metales como por ejemplo las reacciones entre el cloro y el sodio o entre flúor y el calcio tienen características similares a la oxidación del sodio o del calcio. Escribe las reacciones y establece una definición más general que explique estos procesos como oxidaciones así como los mencionados en A.43.

A.46. En el laboratorio colocamos dentro de una disolución de sulfato de cobre, un objeto de hierro. Realiza la experiencia y escribe los cambios observados. ¿Cómo podrías interpretar el proceso que ha tenido lugar? Escribe la reacción resaltando su aspecto fundamental.

A.47. Interpreta, según la nueva definición de reacción red-ox, los procesos de oxidación del hierro y obtención del aluminio a partir de cloruro de aluminio y potasio metálico.

Con el fin de facilitar el análisis de estas reacciones en general se descomponen dos semirreacciones (una de oxidación y otra de reducción). Una de oxidación, en la que una especie química (molécula, átomo o ión) pierde electrones y otra, de reducción, en la que otra especie química gana electrones.

A.48. Escribe las semirreacciones de oxidación y de reducción en las reacciones siguientes:

Hierro + Oxígeno \rightarrow Óxido de hierro (II)

Cloruro de aluminio + Potasio \rightarrow Aluminio + Cloruro potásico.

Cloro + Sodio \rightarrow Cloruro sódico

Indica en cada caso quien es el oxidante y cual el reductor.

A.49. Escribe las semirreacciones de oxidación y reducción e indica quien es el oxidante y quien el reductor en la obtención del plomo a partir de óxido de plomo (II) y carbono.

Comentarios al apartado 4.

En la A.42 se trata de explorar las ideas de los alumnos sobre estos procesos. Hay resultados que indican la fácil interpretación de la oxidación como incorporación de oxígeno, si bien la reducción como pérdida de oxígeno es mucho más ignorada por los alumnos (Bueso, Furió y Mans 1987). Conviene dejar abierta la respuesta ya que en este apartado se debatirán estos conceptos.

Así pues en la A.44 se plantea un problema según esta interpretación dado que la reacción implica el intercambio de oxígeno de una sustancia a otra y aunque es fácil acomodar aquella definición, se obtiene una nueva condición. Al mismo tiempo que se realiza la oxidación de un elemento (el C) se reduce (pierde oxígeno) el otro, reaccionante (el óxido metálico).

En este proceso gradual de generalización se ha planteado la A.45 donde el oxígeno pierde su papel esencial como elemento de intercambio en el proceso ya que no interviene en estos procesos y, sin embargo, el ataque de los metales por los halógenos tiene semejanzas fenomenológicas con las oxidaciones anteriores. Habrá que incidir aquí en los iones formados y en qué ha sucedido para que se constituyan estas sales. Esta interpretación conducirá a una nueva definición de reacción red-ox como intercambio electrónico. La A.46, que conviene realizar en el laboratorio, nos permitirá aplicar la definición anterior a este proceso, si bien interesará expresar la reacción en forma iónica para una más fácil interpretación, dejando de lado los iones espectadores. Finalmente en A.47 se reinterpretan a la luz de la nueva definición, algunos procesos ya vistos como ejemplo de la primitiva definición, para ver que los resultados son coherentes.

Las dos últimas actividades (A.48 y A.49) tienen como objetos específicos la manipulación de las semirreacciones de oxidación y reducción y la introducción de los conceptos de oxidante y de reductor que, en general, se confunden por los alumnos quizás porque no distinguen entre procesos y especies químicas o por la similitud fonética de las palabras introducidas. El primer objetivo es requisito para poder comprender los fenómenos electrolíticos y las pilas que se introducirán más adelante. E, particular, la A.49 se puede aprovechar para matizar que la oxidación del carbono implica no una pérdida total de electrones del átomo de C, pero sí una pérdida neta de la influencia del núcleo del átomo de C sobre sus electrones de valencia al compartirlos con el oxígeno en el CO_2 (iniciación hacia el concepto de estado de oxidación que se estudiará a continuación).

4.2 Estado de oxidación. Su obtención.

Cómo habrás podido observar en la actividad anterior, el proceso de reducción es claro cuando pasa el ión plomo (II) a plomo. Por el contrario el proceso de oxidación del carbono es confuso porque esta sustancia pasa a formar parte de los productos de un enlace covalente. La entrada en juego de enlaces covalentes en los procesos de intercambios de electrones (red-ox) exige la introducción del concepto de estado de oxidación para explicar estas reacciones.

A.50. Teniendo en cuenta que la formación de agua a partir de sus elementos es una reacción red-ox ¿Cómo la interpretarías sabiendo que el enlace O-H es covalente polar?.

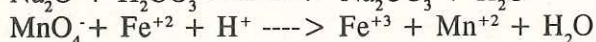
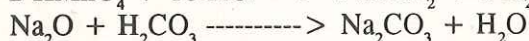
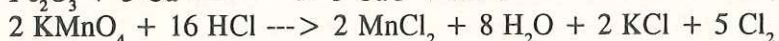
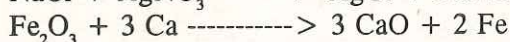
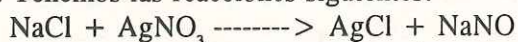
A.51. Explicación por el profesor del concepto de índice (estado) de oxidación.

A.52. Indicad como se puede obtener el índice de oxidación de un elemento en una molécula o un ión.

A.53. Obtened los índices de oxidación de los elementos de las siguientes especies químicas: ClO^- , PbO , NaOH , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NH_3 , Fe , CH_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, MnO_4^- , CO_2 , NO_3^- .

A.54. Teniendo en cuenta los índices de oxidación, define los conceptos de oxidación y reducción y obtén un criterio para saber si una reacción es red-ox o no. ¿Cómo sabrías quien se oxida, quien se reduce, quien es el oxidante y quien es el reductor?.

A.55. Tenemos las reacciones siguientes:



Indica cuales son red-ox y escribe quienes son los oxidantes y quienes los reductores.

Comentarios al apartado 4.2.

En A.50 se plantea la necesidad de ampliar nuestro concepto de oxidación-reducción a las sustancias covalentes. Para ello consideraremos en A.51 la pérdida o ganancia parcial de influencia sobre los electrones de enlace por parte de los núcleos de los distintos átomos que componen una molécula con enlaces covalentes polares como un proceso de oxidación o reducción.

Con objeto de introducir un parámetro que nos permita analizar con facilidad si una sustancia se oxida o se reduce, introduciremos el índice o estado de oxidación de un elemento como el número de electrones que un átomo gana o pierde total o parcialmente respecto a su estado base.

En A.52 los alumnos deberán aprender a calcular el índice de oxidación de los átomos que componen una sustancia química (sal, molécula, ión, etc.). Para ello será conveniente explicitar a los alumnos un pequeño algoritmo basado en las reglas siguientes:

a) El índice de oxidación (I.O.) de un elemento en su estado base es cero.

b) El I.O. de un ión monoatómico es igual a su carga eléctrica.

c) El I.O. del hidrógeno es siempre +1 con excepción del hidrógeno gaseoso y los hidruros metálicos.

d) El I.O. del oxígeno es siempre -2 con excepción del oxígeno gaseoso y de los peróxidos.

e) La suma de los I.O. de los átomos de una molécula es siempre igual a cero.

f) La suma de los I.O. de los átomos de un ión poliatómico es igual a la carga de dicho ión.

En A.53 y A.54 utilizaremos el índice de oxidación para caracterizar una reacción redox (como reacción en la que hay cambios en los I.O. de sus átomos) y para localizar, en una reacción química, las sustancias químicas que se oxidan y que se reducen.

Es importante relacionar el índice de oxidación con las valencias de un elemento que posiblemente más de un alumno tuvo que aprenderse de memoria sin saber con exactitud cual era su significado. Podría ser interesante justificar los estados de oxidación del cloro desarrollando las estructuras de Lewis de los ácidos hipocloroso, cloroso, clórico y perclórico así como los I.O. fundamentales del azufre en los ácidos sulfuroso y sulfúrico.

4.3 Pilas. Electrólisis (opcional).

Hemos visto que una reacción red-ox es, en esencia, un intercambio de electrones. En física también vimos que la corriente eléctrica era un movimiento continuo de electrones entre zonas de potencial eléctrico distinto. Hasta ahora el intercambio de electrones entre reductor y oxidante se ha hecho por «contacto directo», por choque entre moléculas o iones.

Otra manera de realizar el intercambio de electrones en una reacción red-ox es su realización «a distancia» mediante un intermediario que será un conductor eléctrico. Con ello tenemos dos grandes ventajas: Aprovechamos en forma de energía eléctrica las energías que se desprenden de la reacción y, por otra parte, podemos controlar el funcionamiento de la reacción a nuestro gusto mediante el interruptor.

A.56. ¿Cómo conseguir experimentalmente que la reacción: $\text{Zn (s)} + \text{CuSO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cu (s)} + \text{ZnSO}_4(\text{aq})$ se realice a distancia mediante un conductor eléctrico?.

A.57. Montad en el laboratorio una pila Daniell, medir su diferencia de potencial y escribir las semirreacciones que tienen lugar en cada disolución.

A.58. Medid la diferencia de potencial de una pila Leclanché, abridla y estudiad sus componentes (zona oxidante, zona reductora y electrolitos que se usan).

A.59. Recordando la actividad 46, explica cómo fabricarías una pila de hierro cobre y que semirreacciones tendrían lugar en el ánodo y en el cátodo.

Es de todos conocido que las pilas «se gastan» cuando se agotan los reaccionantes, pero podríamos regenerar una pila gastada de Cu/Zn mediante la aplicación de una corriente eléctrica de voltaje algo mayor al que da la pila y con la polaridad invertida. Mediante energía eléctrica podemos conseguir reacciones que espontáneamente se realizan en sentido contrario. A este fenómeno se le denomina electrólisis. Es de gran importancia para la obtención y purificación de muchos metales a nivel industrial.

A.60. El cloro y el sodio reaccionan espontáneamente formando NaCl. ¿Cómo podrías obtener sodio y cloro a partir de cloruro de sodio?.

A.61. La obtención de aluminio se realiza industrialmente a partir de la alúmina (Al_2O_3) mediante electrólisis. Revisa en la bibliografía que procesos químicos tienen lugar.

A.62. Obtened en el laboratorio, lejía mediante electrólisis de cloruro de sodio.

Comentarios al apartado 4.3.

Este apartado, que consideramos opcional dada la gran extensión del tema, pretende iniciar a los alumnos en el conocimiento del uso de las reacciones químicas como generadores de corriente continua. Para ello se plantea en A.56 la posibilidad de realizar una reacción red-ox sin contacto directo entre el oxidante y el reductor de modo que los electrones intercambiados circulen por un conductor eléctrico produciendo una corriente eléctrica. En A.56 se realizará un montaje de una pila Daniell en el laboratorio, al menos como experiencia de cátedra que permita a los alumnos visualizar los conceptos indicados y medir la diferencia de potencial de la misma.

Es interesante resaltar que en una pila se transforma energía química en energía eléctrica mediante reacciones que ocurren espontáneamente. A partir de ahí puede plantearse el proceso inverso: Utilizar energía eléctrica para producir reacciones que no son espontáneas y precisan de gran cantidad de energía para realizarse.

El planteamiento de la electrólisis se realizará meramente a nivel cualitativo y experimental en A.62. Si se dispone de acumulador de plomo (batería de coche). Asimismo puede hacerse una clasificación incipiente de oxidantes y reductores mediante reacciones comparativas entre cada dos de ellos.

INICIACION A LA QUIMICA DEL CARBONO (QUIMICA ORGANICA)

Indice

Introducción

1. Origen del término Química Orgánica
2. Estructura y enlaces en los compuestos del carbono
3. Capacidad de combinación del átomo de carbono en los compuestos orgánicos
 - 3.1. Compuestos C e H. Hidrocarburos
 - 3.2. Compuestos del carbono con otros elementos. Grupos funcionales y funciones orgánicas.
 - 3.3. Isomería de los compuestos del carbono.
4. Importancia y aplicaciones de la química del carbono en la vida actual.

INTRODUCCION

Aunque el carbono no es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre (menos del 0,1%), se conocen muchos más compuestos del mismo que del resto de los elementos conjuntamente, exceptuando al hidrógeno. Este hecho, junto con el papel que juegan estos compuestos en nuestra vida, obliga a dedicar un capítulo al estudio de la química de un único elemento, el C, a través del cual podremos comprender la gran capacidad de combinación de este elemento y su importancia.

A.1. Enumera productos de uso diario en cuya composición figure el carbono, con el fin de establecer la importancia excepcional de la química de este elemento.

A.2. Describe el papel primordial de los compuestos del carbono en los seres vivos.

Comentarios A.1. y A.2.

Con las dos primeras actividades tratamos de que el alumno se de cuenta del papel fundamental del carbono en nuestra vida, por la cantidad de productos que lo contienen. En efecto y aunque es desconocido por el estudiante, es importante para desarrollar una actitud positiva del alumno frente a la química, comentar que por ejemplo, prácticamente todos los vestidos que llevamos son fabricados a partir de productos orgánicos obtenidos en las plantas industriales que hay en las refinerías de petróleo, así como que una gran cantidad de los medicamentos usados por el hombre tienen la misma procedencia, y no digamos los materiales plásticos que se usan cada vez más en la construcción (cloruro de polivinilo, polietileno etc.) al ir sustituyendo a otros materiales por reunir ciertas ventajas en sus propiedades físicas y químicas (ligeros sin corrosión posible, etc.). Estos serían unos pocos ejemplos que conviene ampliar para que los alumnos se den cuenta que, actual mente, nos encontramos en la era de la química, como se verá más ampliamente al final del capítulo donde haremos una breve incursión a algunos dominios de aplicación de la química orgánica (A.1.). Ya en A.2. se relaciona a los compuestos del carbono con sus conocimientos de biología, viendo el papel fundamental del carbono en los procesos vitales: si extrajésemos del cuerpo humano o de cualquier ser vivo los compuestos del carbono, tan solo quedaría agua y un pequeño residuo mineral. Así justificaremos el que se dedique un capítulo a la química de un único elemento.

1. ORIGEN DEL TERMINO QUIMICA ORGANICA

En este apartado trataremos el porqué a la química del carbono se le denomina química orgánica.

- A.3. ¿Qué entiendes por química orgánica? Señala algunos compuestos orgánicos e indica en qué se diferencian de las otras sustancias (inorgánicas).
- A.4. Exposición por el profesor del origen del término química orgánica.
- A.5. Diseñar algunas experiencias de laboratorio que permitan llegar a establecer algunas propiedades físicas y químicas de los compuestos orgánicos.

Comentarios al apartado 1

Trataremos aquí que el alumno comprenda el origen del término química orgánica, así como el significado que tiene hoy en día. Con A.3. se pretende que el alumno incida sobre la antigua clasificación que llevó a distinguir dos grandes grupos de sustancias las producidas por organismos vivos, llamadas orgánicas, y las que no proceden de seres vivos, llamadas inorgánicas. Las diferencias en cuanto a su origen, composición, combustibilidad, facilidad o no de sintetizarlas en el laboratorio, junto con las ideas del alumno sobre la vida y sus orígenes, deberá ser recogido por el profesor, para en A.4. poner en evidencia una vez más el comporta miento unitario de la materia, por las miles de sustancias «orgánicas» obtenidas en el laboratorio. No obstante, los procesos de la química orgánica, y dentro de estos los bioquímicos, tienen tal peculiaridad que se ha conservado la distinción e incluso la nomenclatura, vaciada de su sentido primitivo, entre los compuestos del carbono que englobamos en lo que se denomina «química orgánica» y el resto de los elementos que se incluyen en lo que denominamos «química inorgánica». Con A.5. pretendemos que el alumno tome contacto desde el punto de vista general, en el laboratorio, con los compuestos orgánicos: estudio de su solubilidad, combustibilidad, no conductividad eléctrica.. y relacionarlos con su carácter covalente. Pueden utilizar: hexano, naftaleno, alcohol, sacarosa, celulosa etc.

2. ESTRUCTURA Y ENLACES EN LOS COMPUESTOS DEL CARBONO

El carácter especial de los compuestos del carbono, se traduce como vimos en A.1. en la gran cantidad de compuestos que pueden formar y que trataremos de justificar a continuación.

- A.6. Teniendo en cuenta la estructura electrónica del carbono, trata de explicar las posibilidades de combinación de este elemento.
- A.7. Considerando lo estudiado en el capítulo 8 referente al enlace químico, ¿qué tipo de enlace crees que formará el átomo de carbono con los átomos enlazados a él?
- A.8. Establece los esquemas correspondientes de puntos para compuestos tales como: CH_4 ; CO_2 ; C_2H_4 .
- A.9. Teniendo en cuenta la repulsión que se ejercen entre sí los pares de electrones, para el caso del metano (CH_4), ¿cómo crees que pueden distribuirse espacialmente los enlaces en esta molécula?

Un átomo de carbono como ya hemos visto, podrá compartir electrones no sólo con el hidrógeno y otros elementos, sino también con él mismo, dando lugar a un sinnúmero de posibilidades.

- A.10. Dada la tetravalencia del carbono, predecir qué enlaces múltiples podrá formar con otros átomos de carbono, poniendo algunos ejemplos y estableciendo sus estructuras de puntos.

Comentarios al apartado 2

Existe realmente una diferencia cualitativa entre el comportamiento del carbono y el resto de los elementos, que aunque se explica por los mismos principios de estructura electrónica que justifican las propiedades de cualquier elemento, merece ser resaltada y conocida por los alumnos para comprender las

características de los compuestos del carbono.

Con las actividades A.6., A.7., y A.8. el alumno podrá deducir la posibilidad de formación de enlaces covalentes con compartición de electrones entre el átomo de carbono y los átomos enlazados con él y explicar así la tetravalencia que presentará el carbono en compuestos como el CO_2 , CH_4 . recordando lo estudiado en el tema de enlace químico.

En general, y para las distintas actividades, interesa la introducción de los modelos moleculares (A.9.) y su uso por los alumnos cuando ello sea posible. En el caso de la A.9. es de esperar que los alumnos vean la necesidad de que las nubes electrónicas se dirijan hacia posiciones del espacio lo más alejadas entre sí para que el sistema posea mínima energía potencial (vértices de un tetraedro).

Con A.10. se pretende que el alumno, recordando lo estudiado en el tema de enlace químico sobre enlaces múltiples, vea esta posibilidad aplicada al átomo de carbono uniéndose a otros átomos del mismo elemento, estableciendo sus estructuras de puntos. Conviene aquí indicar que no pueden ser extrapoladas las estructuras tetraédricas del átomo de carbono en los enlaces múltiples. Ello puede comprobarse si se siguen utilizando los modelos moleculares.

3. CAPACIDAD DE COMBINACION DEL ATOMO DE CARBONO EN LOS COMPUESTOS ORGANICOS.

Después de estudiar algunos caracteres generales de los compuestos del carbono, pasaremos a estudiar la gran versatilidad de comportamiento del átomo de carbono y su extraordinaria capacidad de combinación.

A.11. ¿Cuáles crees que serán las causas fundamentales del gran número de compuestos de carbono existentes?.

Comentarios A.11.

Las principales causas de la existencia de una infinidad de compuestos orgánicos que conviene recordar y que justifican la división de este apartado en tres grandes subapartados, no son conocidas por el alumnado. En primer lugar ya se ha indicado anteriormente la capacidad que tiene el átomo de carbono para unirse consigo mismo formando cadenas o ciclos, con una gama infinita de combinaciones posibles, casi todas ellas estables desde el punto de vista energético. Recordemos que sólo unos pocos elementos como el S, Si, y P, pueden también formar macromoléculas largas, pero en mucha menor medida que el átomo de carbono. De ahí que el apartado 3.1. se destine a profundizar en este aspecto, y sólo se trate el estudio de las combinaciones C e H.

En segundo lugar, no sólo el carbono puede formar enlaces covalentes consigo mismo sino, también, con otros muchos átomos como el O, N, S, etc, obteniéndose compuestos que pueden clasificarse en grandes grupos, atendiendo a la clase de átomos que se han ligado a él (grupos funcionales). Este será el objetivo del apartado 3.2. Finalmente la extraordinaria capacidad del átomo de carbono puede llegar al extremo de formar compuestos diferentes con el mismo número y clase de átomos enlazados pero con diseños moleculares distintos (isomería). Ello será estudiado en el apartado 3.3. de este mismo punto.

3.1. Compuestos de carbono e hidrógeno. Hidrocarburos.

En este apartado vamos a estudiar los compuestos del carbono más sencillos, formados exclusivamente por este elemento y el hidrógeno (**hidrocarburos**), así como algunas de sus propiedades o características.

A.12. Nombrar productos de uso ordinario que sean hidrocarburos, y señalar su aplicación más corriente.

A.13. Basándote en el modelo tetraédrico del átomo de carbono, construye los modelos moleculares de los compuestos de carbono citados en la actividad anterior.

A.14. Escribir la fórmula desarrollada y semidesarrollada de compuestos de C e H con seis átomos de carbono., a) de manera que formen una cadena cerrada, b) formando una cadena abierta.

A.15. ¿Cómo se podrían clasificar los hidrocarburos obtenidos en las actividades anteriores?.

Los hidrocarburos saturados e insaturados, presentan una serie de propiedades que los caracterizan y que trataremos aquí brevemente.

- A.16. Buscar en la bibliografía alguna razón por la que a los alcanos se les llama hidrocarburos saturados o parafínicos, y a los alquenos y alquinos insaturados.
- A.17. Predecir lo que puede suceder al enfrentar bromo a) con un alcano b) con un alqueno. Diseñar una experiencia para comprobarlo y realizarla.
- A.18. Justifica el por qué los alcanos son insolubles en agua y se disuelven bien entre sí y en benceno. Compruébalo.
- A.19. Los cuatro primeros alcanos son gaseosos, hasta el decimosexto, líquidos y a partir del decimoséptimo sólidos. ¿A qué crees que será debido?
- A.20. Es de todos conocido el hecho de que los hidrocarburos se emplean como combustibles. Son reacciones muy exotérmicas en las que se obtiene dióxido de carbono y agua. Escribe la reacción de combustión del hexano y calcula el volumen de dióxido de carbono formado en condiciones normales a partir de tres moles de hexano.
- A.21. Se supone que una botella de butano de uso doméstico, contiene 4,7 kg de éste compuesto en estado líquido: ¿Qué volumen ocuparía en condiciones normales? ¿Y a 20° C y 5 atmósferas de presión?.
- A.22. Calcular la masa de vapor de agua que se formará al quemar totalmente el butano contenido en la botella de la actividad anterior.
- A.23. Recordar cuál es la fuente principal de hidrocarburos y justificar brevemente su importancia.

Comentarios al apartado 3.1.

Una forma de motivar al alumno hacia el interés del estudio de estos compuestos, consiste en llamar su atención sobre los más próximos a su entorno familiar y, a ser posible, posteriormente entrar en sus estructuras moleculares. Así por ejemplo dentro de los hidrocarburos es posible citar el butano doméstico que, real mente, es una mezcla de propano y butano; el benzol o benceno que se usaba como quitamanchas o como disolvente de pinturas hasta que se comprobó su carácter cancerígeno; las gasolinas, mezclas de muchos hidrocarburos que pueden ir desde pentanos y hexanos hasta decanos, pasando por los conocidos octanos; las parafinas, usadas para suavizar las juntas de los cajones de madera, o la naftalina (naftaleno) empleada contra las polillas etc. Estos son algunos de los ejemplos que se pueden citar en A.12. Algunos de estos ejemplos pueden servir de base para utilizar los modelos moleculares (A.13.) y ya en A.14. se intenta que los alumnos practiquen las combinaciones posibles en los hexanos y, al mismo tiempo, escriban sus fórmulas, lo que dará significado a la nomenclatura y formulación empleadas. En A.15. se pretende que los propios alumnos generen criterios de clasificación basándose en las semejanzas y diferencias que presentan las fórmulas y se pueden obtener varias clasificaciones (según sean cadenas lineales o cerradas, según la multiplicidad del enlace, etc...) que serán jerarquizadas por el profesor y, al mismo tiempo, se podrá utilizar el apéndice de formulación de este mismo capítulo.

El resto de las actividades de este apartado se destinan a una iniciación a la descriptiva de estos compuestos que, en general es eludida en la mayor parte del tratamiento didáctico de la formulación olvidando que una fórmula es una síntesis del conocimiento que los químicos tienen de dicha sustancia. En efecto, A.16. centra la atención en la clasificación de hidrocarburos saturados (alcanos o parafínicos) e insaturados (alquenos y alquinos) basadas precisamente en las diferencias de reactividad química. En este sentido, en A.17. se podrá observar, actuando con precaución, la diferencia entre la rapidez de la adición en un alqueno y la de sustitución en un alcano (se puede adicionar unas pocas gotas de disolución acuosa de bromo en CCl_4 a dos tubos de ensayo que contienen 5 ml de n-hexeno y n-hexano respectivamente, y comprobar los tiempos que tarda en desaparecer el color del bromo en ambos tubos. (Si no se dispone de n-hexeno, se puede tomar una porción de gasolina). Posteriormente en A.18. y A.19. se pretende estudiar cualitativamente algunas propiedades físicas (solubilidad y puntos de fusión y ebullición) que caracterizan a estos compuestos con enlaces covalentes y que los alumnos pueden responder, dado que ya se ha estudiado

en el capítulo de enlace químico. Las actividades siguientes, A.20., A.21. y A.22., servirán para varios fines: insistir en otra característica química de estos productos (combustibles) y aplicar los conocimientos de estequiometría que también se han tratado en el capítulo precedente de reacciones químicas. Concluye este apartado con A.23., breve reflexión sobre el petróleo como materia prima de innumerables productos químicos, entre los cuales ocupan lugar destacado los hidrocarburos, así como de su enorme importancia socioeconómica en el mundo actual.

3.2. Compuestos del carbono con otros elementos. Grupos funcionales y funciones orgánicas.

La mayoría de los compuestos orgánicos presentan algún átomo distinto del de C e H, enlazados en la cadena carbonada. En la mayor parte figuran otros elementos como oxígeno, nitrógeno o azufre. A estos grupos atómicos especiales presentes en las moléculas hidrocarbonadas se les da el nombre de «grupos funcionales», precisamente porque confieren al compuesto un comportamiento químico muy diferente al de los hidrocarburos de origen. La agrupación de compuestos orgánicos atendiendo a la similitud de propiedades, dio origen a la noción de función orgánica y tiene mucho que ver con la existencia de estos grupos funcionales, si bien en esta interpretación de las propiedades también influye la cadena hidrocarbonada. Aquí veremos las principales funciones orgánicas, poniendo en evidencia una vez más la enorme capacidad del carbono para formar compuestos.

A.24. Utilizando tres átomos de carbono, uno de oxígeno y los necesarios de hidrógeno, construir los modelos moleculares de posibles compuestos orgánicos, a base de estos tres elementos.

Una primera posibilidad la constituye la unión de un oxígeno a un carbono y a un hidrógeno. El grupo -OH unido al átomo de carbono se conoce como grupo funcional alcohol. (Ver apéndice)

A.25. Construye los modelos moleculares y escribe las fórmulas del metanol (alcohol de quemar) y el etanol (alcohol etílico)

A.26. Clasifica los distintos alcoholes según la situación del grupo -OH en una cadena lineal y ramificada de un hidrocarburo.

A.27. Escribe las fórmulas de los distintos alcoholes que pueden formarse con cuatro átomos de carbono y un grupo -OH, nombrándolos.

A.28. Se ha verificado que los alcoholes de baja masa molecular en condiciones ordinarias, son líquidos solubles en agua, mientras que los hidrocarburos del mismo número de átomos de carbono son gases e insolubles en agua. Explicad a qué se deben estos cambios desde el punto de vista químico.

A.29. Comentar productos de la vida diaria que contengan alcoholes y sus aplicaciones.

Un segundo grupo funcional a base de oxígeno, es el que corresponde al doble enlace C=O denominado grupo carbonilo.

A.30. ¿En qué parte de la molécula de un hidrocarburo se podrá enlazar un átomo de oxígeno con un doble enlace? Aplícalo al caso del n-butano y di cuantos compuestos distintos se obtienen.

A.31. Explicación por el profesor de las funciones aldehído y cetona, realizando, como en otros casos que se considere necesario, ejercicios de formulación.

Es posible un mayor grado de oxidación al introducir dos átomos de oxígeno en un mismo átomo de carbono, dando lugar a un grupo funcional llamado carboxilo, característico de los ácidos orgánicos:

A.32. ¿Por qué la función anterior caracteriza a los ácidos orgánicos?

A.33. Escribe la fórmula del ácido propanoico y su posible disociación iónica, interpretando las causas de dicha ionización.

A.34. Predecir cuales serán los productos formados al neutralizar una disolución de ácido acético con una de NaOH.

A.35. En el tema anterior hemos estudiado los ácidos llamados inorgánicos. Diseña una experiencia para luego realizarla en laboratorio, que ponga en evidencia las semejanzas y las diferencias en el comportamiento de los ácidos orgánicos e inorgánicos.

El paso de un hidrocarburo a un ácido orgánico, es pues una oxidación creciente, que culmina, si se prosigue con la formación de CO y vapor de agua. Esto será estudiado en cursos posteriores, así como otros grupos funcionales en los que interviene el nitrógeno, como el grupo amino (-NH₂), el grupo amida (-C) etc.. cuyo papel en las sustancias orgánicas es básico (proteínas, vitaminas etc) y pone de manifiesto la enorme capacidad del carbono para formar compuestos.

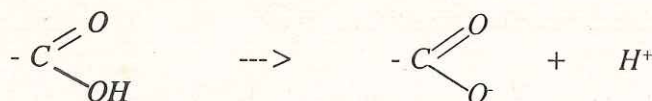
Comentarios al apartado 3.2.

Como ya se ha indicado en el comentario de A.11., la capacidad del carbono para formar enlaces no se reduce a las uniones C-C y C-H, en la mayor parte de los compuestos orgánicos figuran otros elementos como el oxígeno, el nitrógeno o el azufre, dando lugar a la aparición de grupos atómicos especiales, denominados «grupos funcionales». En este apartado, sólo se pretende introducir la nomenclatura de las funciones oxigenadas más importantes, y mostrar una vez más el número de combinaciones posibles con unos pocos átomos, de ahí la necesidad de una sistematización como la que estamos introduciendo para estudiar la química orgánica.

Con A.24. y sólo con un ejemplo los alumnos pueden hacerse una idea de la gran variedad de compuestos que se pueden formar. En efecto, en el supuesto de que la molécula obtenida sea lineal, y no cíclica, surgen 17 posibilidades combinando estos tres factores entre sí: la intercalación o no del átomo de oxígeno en la cadena de tres átomos de carbono, la multiplicidad o no de los enlaces entre átomos de carbono, (simples, dobles, o triples) y las dos posibles uniones entre un átomo de carbono y otro de oxígeno, (C-O y C=O). Esta misma actividad puede servir para mencionar los distintos grupos funcionales que han surgido (alcoholes, aldehidos, cetonas, éteres, etc...) y comenzar por el primero de ellos. En efecto, desde A.25. a A.29. se introduce el grupo alcohol, la formulación del grupo alcohol, la formulación de los dos primeros compuestos de la serie homóloga de los alcoholes primarios que, en general, son conocidos por los alumnos, y con el propósito también de señalar sus diferencias en cuanto a su toxicidad (A.25.). En A.26. se clasifican atendiendo al tipo de átomos de carbono a que está unido el grupo -OH, surgiendo nuevas series homólogas y reforzando la formulación (A.27.). La A.28. se destina a destacar el comportamiento diferente de estos alcoholes, respecto a los hidrocarburos de procedencia o respecto a aquellos que tienen la misma masa molecular que se justifica con la entrada del átomo de oxígeno en la molécula y con ello la mayor polaridad del enlace C-O que el C-C o el C-H aumentando sus posibilidades de interacción con otras moléculas iguales o con otras distintas. Se da así entrada a la justificación del papel de los alcoholes como sustancias empleadas como disolventes. La A.29. tiene como objeto la aproximación al entorno del alumno, haciendo ver la utilidad de estas sustancias en ambientes domésticos (alcohol de quemar, etanol de 96° como desinfectante glicerina como disolvente de cremas para la piel etc...) a parte de las aplicaciones industriales de muchas de ellas.

Una segunda posibilidad estriba en la unión del oxígeno con un sólo carbono mediante un enlace doble, como ya se indicó en A.24. lo que acentuará la polaridad de la unión carbono-oxígeno (A.30. y A.31.). Según la posición relativa del grupo carbonilo en la cadena se pueden obtener dos nuevas funciones: si el grupo C=O se encuentra en un carbono primario, nos hallamos ante la función aldehido; si el oxígeno se encuentra ligado a un carbono secundario, da lugar a la función cetona.

De A.32. a A.35. pretendemos que el alumno conozca el grupo carboxilo, pudiendo ser insertado únicamente en un carbono primario de una cadena carbonada, originando la función ácido debido a la posibilidad de cesión del H del grupo carboxilo dada la polarización que el otro átomo de oxígeno provoca, y que se traduce en un cierto grado de ionización (A.32.).



En la A.34. y A.35. se trata de que el alumno observe las semejanzas y diferencias de estos ácidos

con los estudiados anteriormente, recordando que la ionización de los ácidos orgánicos en medio acuoso es, en términos generales, más débil que la de los ácidos inorgánicos fuertes como el clorhídrico, nítrico etc... Si bien convendría relativizar estas conclusiones, dado que también en orgánica podemos tener ácidos fuertes como por ejemplo el tricloroacético.

3.3. Isomería de los compuestos del carbono (Opcional)

En lo visto hasta aquí, hemos podido constatar, cómo compuestos con fórmulas moleculares iguales presentaban distintas estructuras(isómeros) y, por consiguiente, propiedades diferentes.

- A.36. Teniendo en cuenta el concepto de isomería, poned algunos ejemplos de compuestos orgánicos isómeros.
- A.36.(bis) Recordando los diferentes compuestos orgánicos estudiados hasta aquí, encontrad los diferentes tipos de isomería introducidos.
- A.37. Los octanos son hidrocarburos saturados que podemos encontrar en las gasolinas. Escribid al menos 5 octanos y darles nombre.
- A.38. Cita ejemplos, formulándolos, de compuestos con la misma fórmula molecular pero con distintos grupos funcionales.
- A.39. Pon ejemplos de compuestos con igual fórmula molecular y grupos funcionales, pero situados en distintas posiciones.
- A.40. Explicación por el profesor de la isomería óptica.
- A.41. Resume los distintos tipos de isomería estudiados.
- A.42. Expón brevemente los aspectos ya citados del comportamiento del carbono que justifican el gran número de compuestos de este elemento y en definitiva el carácter especial de la química del carbono.

Comentarios al apartado 3.3.

El objetivo de este apartado y sus actividades, es seguir insistiendo en el carácter especial de la química del carbono, que como sabemos, proviene de la gran capacidad de formación de compuestos. Hemos visto en los diferentes apartados, que algunos de esos compuestos difieren desde grupos funcionales distintos a sutiles modificaciones espaciales. Ello supone la posibilidad de muy ligeras y graduales transformaciones en las propiedades de unos compuestos a otros, con cambios entre ellos que pueden tener lugar consecuentemente, sin grandes transformaciones de energía.

Este apartado requiere una especificación del profesorado en el significado químico del concepto de isomería, que viene a resaltar la existencia de sustancias con la misma composición química pero con propiedades diferentes. La explicación de este concepto, refuerza la estrecha relación entre propiedades y estructura molecular, tan importante en química. En concreto, en la A.36. se trata de explorar las ideas que hallan podido retener los alumnos en el desarrollo de este mismo apartado y, después, se proponen distintas actividades para matizar cada una de las isomerías encontradas. Así en A.37. se plantea la isomería de cadena en un caso que los alumnos habrán oído y que da pie a mencionar el índice de octanos de la gasolina. En A.38. se incide nuevamente en las isomerías de función ya citadas (aldehidos y cetonas, alcoholes y éteres...) y en A.39. se hace lo propio en las de posición (alcoholes primarios, secundarios y terciarios). La A.40. precisa la intervención del profesor, para citar alguna isomería óptica, que marca la culminación del gran número de compuestos orgánicos que encontramos.

Como últimas actividades se proponen la A.41. y A.42. destinadas a recapitulaciones de lo tratado, la primera para globalizar las isomerías y la segunda que incide en el hilo conductor del tema, como es la justificación del carácter especial de la química del carbono.

4. IMPORTANCIA Y APLICACIONES DE LA QUIMICA DEL CARBONO EN LA VIDA ACTUAL.

Hemos visto que la química del carbono presenta un nivel de transformación de la materia mucho más rico en posibilidades que los estudiados hasta aquí. No es de extrañar que los procesos vitales estén íntimamente ligados a la química del carbono, y que sin este elemento, sea inconcebible cualquier forma de vida, de aquí el gran número de aplicaciones de la química orgánica.

A.43. Resumir los principales dominios de aplicación de la química del carbono, explicando más detalladamente alguno de ellos si es conocido particularmente por el alumno.

A.44. Indicar cuales son las principales fuentes del carbono para la industria química orgánica.

A.45. ¿Qué problemas crees que plantea el enorme desarrollo industrial de esta rama de la química?

Comentarios al apartado 4

El desarrollo de este apartado, es de extraordinaria importancia para conseguir una actitud positiva de los estudiantes hacia la química y su enseñanza, y no debe ser considerado como el punto final de un capítulo que generalmente se olvida en las programaciones bastante recargadas. No hay que olvidar que el gran número de aplicaciones de la química orgánica, es en gran medida fruto de la comprensión por el ser humano de las reacciones que experimentan moléculas relativamente simples ;conocimientos que han sido necesarios en la búsqueda de soluciones a la escasez de alimentos, de productos con nuevas propiedades que fueran superiores a las existentes, como por ejemplo, de plásticos, caucho artificial, fibras sintéticas, ... Otro dominio importante en el que se ha avanzado gracias a estos saberes, lo constituye la química farmacológica resaltando la influencia ejercida en las condiciones de vida de los hombres por el desarrollo de medicamentos de todo tipo. Otro sería la química agrícola, química de los pesticidas, insecticidas, herbicidas, etc. y el campo de los detergentes sintéticos. Así como la química de los seres vivos (bioquímica) y el propio papel de la química en el desarrollo industrial. Todos son ejemplos que pueden desarrollarse más concreta y extensamente en A.43.

En A.44. interesaría que los alumnos recordaran que el petróleo, gas natural y el carbón, productos obtenidos por la descomposición de la materia viva, así como los animales y vegetales actuales, son las principales fuentes de compuestos del carbono, y los problemas que genera su escasez y encarecimiento, así como su papel como fuentes de energía percederas, que en el futuro, deberán ser sustituidas por otras fuentes alternativas.

En general, en el estudio de la química, los alumnos habrán podido ver cómo el conocimiento por el hombre de las propiedades de la materia es cada vez mayor, lo que hace posible su creciente dominio sobre la misma; Pero este desarrollo industrial (A.45.) plantea nuevos problemas: creciente contaminación, ruptura del equilibrio ecológico, agotamiento de materias primas, crecimiento desordenado de las poblaciones industriales, condiciones de trabajo deshumanizadas, etc que ponen de relieve la necesidad de una mejor organización del desarrollo industrial, y de conseguir un desarrollo orientado por los intereses generales de la población con una perspectiva de futuro. Dado el tema, interesaría establecer un debate para ver las soluciones posibles a los problemas planteados. Sugerimos también la conveniencia de proponer a los alumnos el estudio de una industria concreta en sus diferentes aspectos y la presentación de una memoria que los recoja, como culminación al estudio de la química y sus aplicaciones.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.46. Escribe las reacciones de combustión del alcohol puro (etanol) y butano. Indica un procedimiento para comprobar de forma cualitativa que en las reacciones anteriores se produce vapor de agua y dióxido de carbono, y realízalo en el laboratorio.

Comentarios A.46.

Esta actividad pretende que el alumno estudie una reacción que puede observar frecuentemente, y diseñen una experiencia para reconocer los productos de reacción. Seguramente en alguna ocasión han observado el vapor de agua producido en una habitación en la que se encuentra funcionando una estufa

de butano. Es conveniente la discusión sobre por qué utilizamos alcohol puro para la reacción de combustión y no alcohol de quemar o alcohol ordinario, de los que posiblemente habrán oído hablar.

A.47. La mezcla de metano y aire conocida como «gas grisú» en las minas de carbón es muy peligrosa. Explica, desde el punto de vista químico, a qué será debido y qué precauciones debemos tomar.

Comentarios A.47.

Los diferentes nombres que recibe el metano, gas de las minas gas de los pantanos, ... tienen relación con su origen: se produce por la descomposición de materia vegetal, se desprende en las minas de carbón de hulla, a consecuencia de la fermentación que originó este carbón; se forma también en las proximidades de los pozos de petróleo, en las charcas estancadas en forma de burbujas...

Al igual que los demás alcanos, el metano es muy inflamable y su combustión espontánea en las zonas pantanosas produce llamas azules «fantasmales» de las que seguramente los alumnos habrán oído hablar: fuegos fatuos. La discusión puede avanzar en cuanto al aprovechamiento del metano como combustible, para calefacción, para producir carbón, para la preparación de reactivos químicos etc.

A.48. El petróleo, el gas natural y el carbón se producen por la descomposición de la materia viva y constituyen las principales fuentes de compuestos del carbono para la industria química orgánica. Ayudándote de la bibliografía, haz un estudio sobre su extracción, así como la obtención de sus derivados y aplicaciones, analizando el problema de su escasez y las soluciones alternativas.

Comentarios A.48.

El petróleo crudo carece de utilidad comercial, sin embargo se puede refinar, es decir separar en productos útiles por destilación fraccionada, en refinerías, cerca de los grandes centros de consumo. La obtención, refinado y craqueo del petróleo, así como sus aplicaciones, pensamos que debe ser conocido por los alumnos en un primer contacto con la química.

Muchos de los primitivos seres del reino vegetal y animal, han estado sometidos a elevadas temperaturas y presiones durante varias eras geológicas, condiciones en las que la mayor parte de las sustancias orgánicas se convierten finalmente en compuestos hidrocarbonados, y el resultado ha sido su transformación en petróleo y carbón. Estos combustibles fósiles proporcionan gran parte de la energía que consumimos en forma de calor, luz y transporte... No es necesario poner de relieve la magnitud de la industria del petróleo. Los hidrocarburos obtenidos a partir de él y del carbón, son las mayores fuentes de abastecimiento de materias primas para la química industrial de síntesis.

FORMULACION Y NOMENCLATURA DE QUIMICA ORGANICA

(Normas de la IUPAC)

1. HIDROCARBUROS

A.1. Escribir las fórmulas desarrolladas de todos los hidrocarburos posibles con cuatro átomos de carbono.

1.1. Hidrocarburos saturados (Alcanos)

Los hidrocarburos con solo simples enlaces entre los átomos de carbono, se llaman saturados o alcanos y se pueden clasificar en saturados de cadena lineal, saturados de cadena ramificada y cicloalcanos.

1.1.1. Alcanos alifáticos de cadena lineal.

Se nombran con la terminación **-ano** y un prefijo que indica el número de átomos de carbono:

CH_4 metano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$ hexano
CH_3-CH_3 etano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$ heptano
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ propano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$ nonano
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ butano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{CH}_3$ icosano
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ pentano	

A.2. Deducir de fórmula general C_xH_y de los hidrocarburos alifáticos.

1.1.2. Alcanos alifáticos ramificados

Se llaman radicales a los agregados de átomos que resultan de la pérdida de un átomo en H en un hidrocarburo y se nombran cambiando la terminación **-ano** por **-ilo**.

Ej. CH_3- radical metilo

A.3. Nombrar:

- $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-$
- $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$

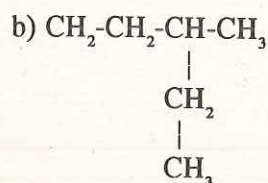
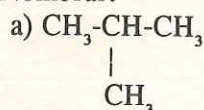
Los alcanos de cadena ramificada se nombran del siguiente modo: Se numera la cadena más larga comenzando por el extremo más próximo al radical y se escribe y nombra el número correspondiente a la posición del radical (localizador) delante del nombre.

Ej. $\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

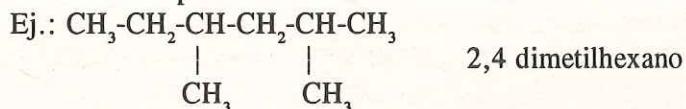


2-metilpentano

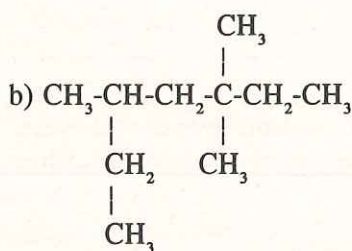
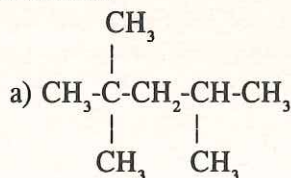
A.4. Nombrar:



Si hay varios radicales iguales, el nombre del radical va precedido de un prefijo que indica el número de radicales (di, tri, tetra...) Los radicales distintos se nombran en orden alfabético comenzando a numerar por el extremo más próximo a una ramificación.



A.5. Nombrar:

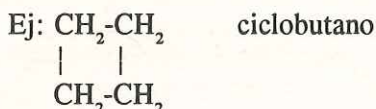


A.6. Formular:

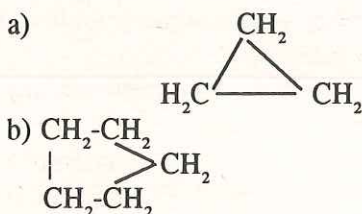
- 5-propilnonano
- 2,2-dimetilbutano
- 3 etil-2 metilpentano

1.1.3. Cicloalcanos

Se nombran anteponiendo el prefijo **ciclo-** al nombre del alcano correspondiente de cadena abierta.



A.7. Nombrar:



A.8. Formular:

- Cicloheptano
- Metilciclopentano

1.2. Alquenos

Los hidrocarburos en los que existen dobles enlaces se llaman alquenos. Los que tienen un solo doble enlace se denominan cambiando la terminación **-ano** por **-eno**, indicando con un localizador la posición del doble enlace (empezando a contar por el extremo más próximo al doble enlace)

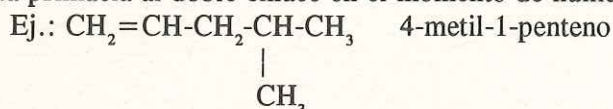


A.9. Nombrar:

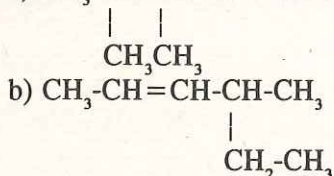
- $\text{CH}_2\text{=CH}_2$
- $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_3$
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH}_2$

A.10. Deducir la fórmula general de los alquenos con un solo doble enlace.

Si hay ramificaciones, se toma como cadena principal la más larga de las que contiene el doble enlace y se da primacía al doble enlace en el momento de numerar.

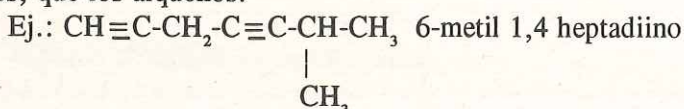


A.11. Nombrar:

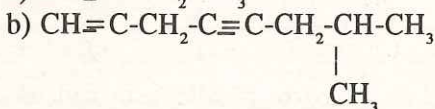
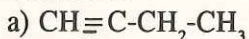


1.3. Alquinos

Los hidrocarburos con un solo triple enlace, se nombran con la terminación **-ino** en lugar de **-ano** con los localizadores correspondientes siguiendo las mismas normas, si hay ramificaciones o varios triples enlaces, que los alquenos.



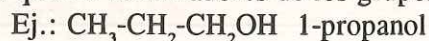
A.12. Nombrar:



2. FUNCIONES OXIGENADAS

2.1. Alcoholes (R-OH)

Para nombrar los alcoholes se considera que se ha sustituido un H de un hidrocarburo por un -OH. El alcohol se nombra añadiendo la terminación **-ol** al hidrocarburo de referencia numerando la cadena de forma que los localizadores de los grupos alcohol sean lo más bajos posible.

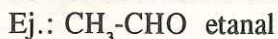


A.13. Nombrar:

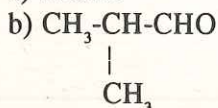


2.2. Aldehidos (R-C $\begin{matrix} \text{H} \\ // \\ \text{O} \end{matrix}$)

Se nombran con la terminación **-al**



A.14. Nombrar:



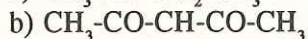
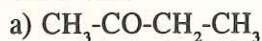
2.3. Cetonas (R-C-R')



Se nombran con la terminación **-ona** numerando la cadena de forma que los localizadores de los grupos cetona sean lo más bajos posible.

Ej.: $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ propanona

A.15. Nombrar:



A.16. Formular:

a) 2 hexanona

b) 2 pentanol

c) butanodial

d) 3-metilpentanodial

2.4. Ácidos carboxílicos (R-C $\begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{=O} \end{array}$)

Se nombran con la terminación **-oico**

Ej.: $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ácido etanoico (acético)

A.17. Nombrar:

a) HCOOH b) HOOC-COOH c) $\text{CH}_3\text{-CH-COOH}$ 2.5. Esteres (R-C $\begin{array}{l} \text{O-R}' \\ \text{=O} \end{array}$)

Se nombran sustituyendo la terminación **-oico** de los ácidos por **-ato** y el radical que sustituye al H del ácido se le añade la terminación **-ilo**.

Ej.: $\text{CH}_3\text{-COO-CH}_3$ etanoato de metilo

A.18. Nombrar:

a) HCOO-CH_3 b) $\text{CH}_3\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ c) $\text{CH}_3\text{-CH-COO-CH}_3$ 

A.19. Formular:

a) Ácido propanodioico.

b) Ácido 2 pentenodioico.

c) Acetato de propilo.

LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE LAPIZ Y PAPEL COMO ACTIVIDAD DE INVESTIGACION

GIL-PEREZ, D.

Servei de Formació Permanent. Universitat de València.

DUMAS-CARRE, A.

LIRESP. Université PARIS 7.

CAILLOT, M.

LIRESP. Université PARIS 7.

MARTINEZ-TORREGROSA, J.

Servei de Formació Permanent. Universitat de València.

RAMIREZ-CASTRO, J.L.

Unidad de Programas. MEC-HUESCA.

INTRODUCCION

La resolución de problemas de lápiz y papel es desde hace algunos decenios -como muestra una abundante literatura (GARRET, 1986)- una de las líneas prioritarias de investigación en la didáctica de las ciencias. Esto es debido tanto a la importancia que se da a la resolución de problemas en el aprendizaje de las ciencias como a la constatación del fracaso generalizado de los estudiantes en esta tarea.

En cuanto al papel de la resolución de problemas en el aprendizaje hay un acuerdo generalizado en cuanto que las ciencias se centran en la construcción y sistematización de conocimientos útiles, en particular, en la resolución de diferentes clases de problemas, y, en consecuencia, que la enseñanza de las ciencias debe encarar la tarea esencial de enseñar a los estudiantes a resolver eficazmente los problemas (LARKIN Y REIF, 1979). Hay consenso en que la resolución de problemas ayuda a reforzar y clarificar los principios que se enseñan (SELVARATNMAN, 1983) y, más todavía, que es a través de la resolución de problemas como mejor se aprenden (LARKIN, 1981; ELSHOUT, 1985) porque esto obliga a los estudiantes a poner constantemente sus conocimientos «a trabajar» y favorece la motivación (BIRCH, 1986).

Por otra parte, existen numerosas pruebas experimentales de las graves dificultades encontradas por los estudiantes en la resolución de problemas de lápiz y papel en un dominio específico como es el de la Física y la Química, que son el objeto de este estudio (CAILLOT y DUMAS-CARRE, 1987). Muchos estudiantes -como constatan METTES y otros (1980)- no saben como empezar: simplemente buscan una fórmula adecuada o bien se limitan a escuchar como lo resuelve el profesor. En todo caso, hay acuerdo sobre el hecho de que una gran parte de los estudiantes no son capaces de abordar problemas nuevos (GILBERT, 1980; METTES et al., 1980; GIL y MARTINEZ-TORREGROSA, 1983). El mismo Gilbert ha señalado la posibilidad de resoluciones mecánicas que llevan a la solución correcta... sin que los estudiantes hayan entendido nada.

No es de extrañar, pues, que la resolución de problemas se haya convertido, desde hace unos decenios, en una de las líneas prioritarias de investigación y constituya una de las cuestiones que mas interesan a los enseñantes (GABEL, SAMUEL, HELGESON, McGUIRES, NOVAK y BUTZOW, 1987). Sin embargo, la mayoría de los trabajos publicados se limitan a tratar aspectos concretos de la resolución y están faltos, como señalan METTES et al. (1980), de fundamentación teórica. El marco teórico es, sin duda, fundamental y a él le dedicaremos un primer apartado centrándonos, como ya hemos señalado, en los problemas de lápiz y papel en un dominio específico. Esto supone evidentemente una fuerte limitación, pero hay que tener en cuenta el estatus específico de los problemas de lápiz y papel en la enseñanza de disciplinas como la Física y de su rol privilegiado como soporte de la evaluación (DUMAS-CARRE, 1987). De hecho, la literatura

publicada sobre lo que se denomina Problem-Solving, en las publicaciones dedicadas a la investigación en didáctica de las ciencias, se refiere, casi exclusivamente, a problemas de lápiz y papel.

I. NECESIDAD DE UNA BASE TEORICA

Se encuentran en la literatura esencialmente dos abordos teóricos de la investigación sobre resolución de problemas de lápiz y papel: aquel asociado a la observación de cómo los resuelven los «expertos» y el que podríamos etiquetar como «orientación algorítmica». En cuanto al primero, LARKIN y REIF (1979), por ejemplo, al preguntarse cómo formular modelos útiles para la resolución de problemas científicos proponen observar qué hacen los expertos. Es un aborde que ha sido suficientemente desarrollado (LARKIN, McDERMOTT, SIMON y SIMON, 1980; FINEGOLD y MASS, 1985) y que está asociado a la tradición de la psicología cognitiva del procesamiento de la información (GREENO, 1976; LARKIN, 1979; CHI, GLASER y REES, 1982) en la que se inscriben también las investigaciones sobre simulaciones con ordenador (LARKIN, 1981).

La segunda orientación teórica se encuentra explicitada en los trabajos de METTES et al. (1980; 1981; VAN WEEREN et al., 1981) quienes recogiendo las ideas de GALPERIN, TALYZINA y LANDA sobre la formación de las acciones mentales «etapa a etapa», les ha conducido a heurísticas que intentan lograr explícitamente transformar los problemas en situaciones estandar, que puedan resolverse mediante «operaciones rutinarias» (METTES et al., 1980). Se puede hablar, pues, de algoritmización, al menos como tendencia, ya que la mencionada transformación no es, evidentemente, automática.

Estas orientaciones tienen el mérito de interesarse por la fundamentación teórica y de evitar tratamientos parciales que limitan la investigación a adquisiciones puntuales. Sin embargo, como intentaremos demostrar, presentan también el inconveniente de haber aceptado sin cuestionarse lo que en la enseñanza habitual se designa como «resolución de problemas», y, todavía más, de aceptar explícita o implícitamente el modelo de enseñanza/aprendizaje como simple transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados, lejos pues de los recientes desarrollos del modelo constructivista (DRIVER y OLDHAM, 1986; NOVAK, 1988). Teniendo en cuenta los pobres resultados que se obtienen, sería útil en este sentido hacer una profunda revisión crítica de la manera en la que se enseña a resolver problemas (GILBERT, 1980; GIL y MARTINEZ-TORREGROSA, 1984) y, más incluso, clarificar la idea misma de problema, alrededor de la cual todavía existe una gran confusión (KRULIK Y RUDNIK, 1980).

En nuestra opinión, este cuestionamiento es absolutamente necesario en un dominio como el de la resolución de problemas donde, a pesar de la abundante investigación, no ha habido progresos importantes (equivalentes, por ejemplo, a los producidos a propósito de las ideas intuitivas de los alumnos y su papel en el aprendizaje). Como es bien sabido, uno de los mayores obstáculos al desarrollo de una ciencia consiste en la aceptación de las ideas y suposiciones implícitas, que escapan así a todo examen crítico. En este caso es necesario -como lo muestra claramente la historia de las ciencias- proceder a una revisión global que no deje ningún rincón en la sombra y que no acepte nada como «evidente». Este es el caso, insistimos, de la resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias.

Es necesario añadir también que una fundamentación teórica rigurosa de la resolución de problemas no debe realizarse solamente desde un punto de vista aislado, sin tener en cuenta ciertas adquisiciones fundamentales en la concepción del aprendizaje de las ciencias y, en particular, repetimos, las debidas al desarrollo de las concepciones constructivistas del aprendizaje de las ciencias, que constituyen, sin duda, el modelo teórico emergente (NOVAK, 1988).

No se puede ignorar en este sentido la idea de aprendizaje como cambio conceptual -teniendo en cuenta las preconcepciones de los alumnos- que es considerado hoy día como una de las llaves de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias (HEWSON y HEWSON, 1987). Sin embargo, en este caso se encuentran la casi totalidad de las investigaciones sobre resolución de problemas, lo que supone una gravísima limitación teórica.

De acuerdo con lo expuesto, iniciaremos nuestra toma de posición teórica por un análisis de la idea misma de problema, estudiando las posibles implicaciones en la orientación de su resolución. Intentaremos

también demostrar que las conclusiones a las que se llega son coherentes con las que la orientación constructivista del aprendizaje ha puesto de relieve.

II. ¿QUE ES UN PROBLEMA?

Se ha señalado con frecuencia (KRULIK y RUDNIK, 1980; PRENDERGAST, 1986) que los investigadores en la resolución de problemas de lápiz y papel no se preguntan, en general, qué es un problema -lo que, a nuestro entender, constituye una de las limitaciones de sus investigaciones-, habiendo un acuerdo general en considerar un problema como una situación que presenta dificultades para las cuales no hay soluciones evidentes (HUDGINS, 1966; RICHE, 1978; METTES et al., 1980; HAYES, 1981; GIL y MARTINEZ-TORREGROSA, 1983; BODNER y McMILLEN, 1986). La definición de KUDLIK y RUDNIK (1980) resume bien este consenso: «Un problema es una situación, cuantitativa o no, que pide una solución, para la cual los individuos implicados no conocen los medios o caminos evidentes para obtenerla». Esta misma idea aparece indirectamente cuando se habla de resolución de problemas. Así POLYA señala que «resolver un problema» consiste en encontrar un camino allá donde previamente no se conocía tal, encontrar una salida para una situación difícil, para vencer un obstáculo, alcanzar un objetivo deseado, que no puede ser inmediatamente alcanzado por medios propios (POLYA, 1980, citado por PRENDERGAST, 1986). Se insiste justamente en el hecho de que la existencia de dificultades no es una característica intrínseca de una situación y que depende también de los conocimientos, experiencia, ... del resolutor (GARRET, 1987). ELSHOUT (1985) desarrolla la idea de «Umbral de problematicidad» diferente para cada persona y por encima del cual se puede decir que una situación llega a convertirse en un verdadero problema para la (las) persona(s) en cuestión.

Hay en estas ideas de problema y umbral de problematicidad una primera fuente para la comprensión de los resultados habitualmente tan negativos; en efecto, es fácilmente constatable que los problemas son explicados (tanto por los profesores como por los libros de texto) como algo que se sabe hacer, que no genera dudas ni exige tentativas (GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SENENT, 1988): el profesor conoce la situación -para él no es un problema- y la explica linealmente, «lo más claramente posible»; en consecuencia, los alumnos podrán aprender la solución y repetirla en las situaciones que reconozcan como semejantes, pero ellos no aprenderán a abordar un verdadero problema. Como GILBERT (1980) señala «Nosotros somos un modelo que los estudiantes imitan cuando se encuentran con problemas similares a aquellos que han sido resueltos en clase». Es necesario, pues, insistir en esta incoherencia que consiste en explicar los problemas como.....no-problemas, lo que podría explicar la actitud habitual de los alumnos, consistente en «reconocer o abandonar». Esto es, sin duda, una primera adquisición de este replanteamiento global que nos hemos impuesto en vistas a fundamentar teóricamente la resolución de problemas.

Intentaremos, ahora, ir más allá de esta crítica de la forma habitual de enseñar a resolver los problemas y de obtener algunas implicaciones de la idea de «problema científico» para su aborde.

III. ¿QUE HACER CUANDO NOS ENCONTRAMOS CON UN VERDADERO PROBLEMA? LA ENSEÑANZA Y LA INVESTIGACION HABITUALES SOBRE RESOLUCION DE PROBLEMAS EN CUESTION.

Si se acepta la idea de que un problema es una situación delante de la cual se está inicialmente perdido, la pregunta a hacerse -la que nosotros nos hemos hecho- es: ¿Qué hacen los científicos en este caso?. Por eso, nosotros nos preguntamos exactamente qué es lo que hacen los científicos delante de un verdadero problema y no delante de un enunciado de lápiz y papel como los que se encuentran en los libros de texto, de cara a los cuales podrían tener un comportamiento que no se alejaría esencialmente del de un estudiante, teniendo en cuenta, sin duda, que las diferencias de madurez y de savoir-faire, se traducirían en una reflexión y una eficacia mayores. Señalemos que HELLER y REIF (1984), aún reconociendo las aportaciones de las investigaciones sobre las diferencias entre novicios y expertos, han tenido que señalar también sus limitaciones. Se puede, en efecto, entender que, delante de problemas de lápiz y papel, los «expertos» -que son a menudo profesores que enseñan a resolver problemas- adopten actitudes características de la enseñanza habitual y consideren los problemas como situaciones que se debe saber resolver y no como verdaderos problemas.

En este sentido, los estudios hechos sobre la manera en la que los expertos abordan los problemas de lápiz y papel estarían todavía más alejados de lo que supone enfrentarse a un verdadero problema y, por lo tanto, no podrían ayudar demasiado a orientar el trabajo de los estudiantes que, muy a menudo, se sienten verdaderamente perdidos cara a los problemas -para ellos- muy reales. Sería entonces más útil preguntarse qué es lo que los científicos hacen cuando tienen que vérselas con verdaderos problemas. La respuesta es simplemente que ellos se comportan como investigadores. Y si es verdad que expresiones como las de «Investigación» (con o sin mayúsculas) «metodología científica» o «método científico» no tienen una clara significación unívoca, traducible en etapas precisas y que la idea misma de «método» está contestada (FAYERABEND, 1979), también es cierto que el aborde científico tiene unas determinadas características que es preciso tener en cuenta. Resumiremos algunas sobre las cuales existe acuerdo general entre los epistemólogos (CHALMERS, 1984):

- El hecho de que los problemas científicos son en general sobre todo «situaciones problemáticas» confusas; que el problema no viene dado, que es necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo elecciones de cara a simplificarlo más o menos y poder abordarlo clarificando el objetivo, etc, etc. Y todo esto, evidentemente, partiendo del corpus de conocimientos que se poseen en el dominio de la investigación.
- El hecho de que no se piensa en términos de certeza, más o menos fundamentados en «evidencias», sino en términos de hipótesis que, evidentemente, se apoyan, al menos en parte, en los conocimientos adquiridos, que continúan siendo hipótesis, «tentativas de respuesta», que se han de poner a prueba lo más rigurosamente posible. Como dice HEMPEL (1976), «No se llega al conocimiento científico aplicando un proceso inductivo de inferencia a partir de los datos recogidos con anterioridad, sino fundamentalmente a través de lo que se denomina el «método hipotético», intentando construir respuestas posibles a los problemas estudiados y sometiendo después las hipótesis a verificación».
- El hecho -consecuencia de lo que se ha visto en los párrafos anteriores- que no se encuentra en general con los «datos» como punto de partida, sino repetimos, con situaciones problemáticas confusas: los datos se han de buscar, como continuación/consecuencia de las hipótesis hechas. Es necesario insistir en contra de las visiones inductivistas y simplistas (GIORDAN, 1978), que están muy arraigadas en los enseñantes y que han influido profundamente -como intentaremos demostrar a continuación- en la enseñanza de la resolución de problemas.
- El hecho de dudar sistemáticamente de los resultados obtenidos y de todo el proceso de resolución, lo que obliga a revisiones continuas; el hecho de intentar obtener estos resultados por caminos diversos y, en suma, a establecer su coherencia por referencia a las hipótesis hechas y al cuerpo de conocimientos de partida. Esto es lo que puede conducir a revisar los caminos de resolución, las hipótesis o, incluso, a enfocar el problema desde otro punto de vista. Es necesario llamar aquí la atención sobre un posible «reduccionismo experimentalista» (HODSON, 1985): no basta con un tratamiento experimental para falsar o verificar una hipótesis. Se trata sobre todo de la existencia, o no, de coherencia global con el marco de un corpus de conocimientos.

Es esta imagen imprecisa, fluctuante, de la metodología científica, donde nada garantiza que se llegará a un buen resultado -lejos de toda idea de algoritmo- la que mejor puede describir y orientar el aborde de un verdadero problema, incluyendo los problemas de lápiz y papel para los estudiantes. Es precisamente esto lo que nosotros colocamos como hipótesis de partida, rompiendo así una larga tradición que, como ya hemos señalado en la introducción, se ha mostrado muy ineficaz.

La validez de nuestra hipótesis queda, evidentemente, por probar, pero tiene, al menos, la ventaja de asociar la cuestión de la resolución de problemas a todos los procesos de construcción de conocimientos científicos. En todo caso, la validación de nuestro aborde debería conducir a:

1. Mostrar que las diferentes adquisiciones parciales, obtenidas en investigaciones más o menos puntuales, pueden integrarse de manera coherente en un modelo de resolución de problemas como actividad de investigación. Mostrar, en particular, que este modelo permite entender ciertas dificultades recurrentes

de los alumnos, permite abrir vías para resolverlas y, sobre todo, mostrar la coherencia entre este modelo y los éxitos fundamentales de la investigación sobre el aprendizaje de las ciencias.

2. Hacer adquirir a los alumnos una metodología de resolución de problemas capaz de evitar la manipulación inmediata de los datos y las fórmulas, que a menudo caracteriza el comportamiento de los resolvidores novicios y que tan difícil es de modificar. Debiera conseguir, también, que los alumnos utilizaran mucho más tiempo en la resolución de problemas que encuentran difíciles, antes de abandonar, sin caer pues en la actitud habitual de «reconocer o abandonar» (GILBERT, 1980). Todo esto mejorará las actuaciones de los alumnos y se traducirá en un porcentaje de resultados correctos notable y significativamente superior a los porcentajes habituales.
3. Mostrar que una «reflexión descondicionada» de los profesores -es decir, una reflexión destinada a cuestionarse la manera habitual de enseñar la resolución de problemas, sin aceptar nada como evidente- puede conducir a conclusiones similares sobre la naturaleza de la resolución de problemas como actividad de investigación. Se trata, en definitiva, de mostrar que esta orientación es, en cualquier caso, objetiva (puede ser reconstruida por grupos diferentes) y no es solamente el fruto de ideas particulares de algunos individuos.
4. En último lugar, se constata en los alumnos y también en los profesores, un cambio notablemente positivo en su actitud hacia la resolución de problemas.

En este artículo intentaremos demostrar la coherencia del modelo de resolución de problemas como actividad de investigación con los desarrollos recientes del constructivismo dentro del aprendizaje de las ciencias, su capacidad de integrar las aportaciones parciales que se encuentran en la literatura y sus posibilidades de interpretación de las dificultades de los alumnos cuando ellos siguen las orientaciones habituales. Nos centraremos, pues, en la primera de las vías ya indicadas para testar la validez del modelo y nos referiremos, más brevemente, a otros aspectos desarrollados más ampliamente en otros trabajos (CAILLOT y DUMAS-CARRE, 1987; GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SENENT, 1988; GARRET, GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SATTERLY, 1988).

IV. LA RESOLUCION DE PROBLEMAS COMO ACTIVIDAD DE INVESTIGACION

Como hemos señalado en el párrafo anterior, la validez de un modelo como el que proponemos exige, entre otras cosas, que sea capaz de integrar de manera coherente aportaciones parciales, fruto de la experiencia o de diferentes estudios. Debería también poder explicar porqué ciertas orientaciones suministradas a los alumnos no son seguidas, de manera general, con aprovechamiento. Y también debería mostrarse coherente con los logros más fuertemente establecidos en lo que se refiere al aprendizaje de las ciencias. Es lo que intentaremos demostrar, al mismo tiempo que desarrollaremos y profundizaremos el modelo de resolución de problemas como actividad de investigación. Antes señalaremos que esta orientación ha sido alguna vez enunciada más o menos explícitamente en el contexto diferente del aprendizaje por resolución de problemas (BIRCH, 1986). Pero, es necesario añadir que no se han conseguido avances en esta dirección: «A pesar de las referencias continuas a la metodología científica por los profesores de ciencias, muy poco en la práctica habitual refleja de manera adecuada esta orientación» (GLASER, 1982). Esto es especialmente verdadero en lo que se refiere a la resolución de problemas. En efecto, muy a menudo se encara la resolución de problemas como un proceso absoluto y explícitamente dirigido a reconocer el problema como una situación «estandar»; es decir, como un no-problema o a transformar el problema en situaciones estandar no problemáticas (METTES et al., 1980).

Intentaremos pues, ahora, precisar nuestro modelo de resolución de problemas como actividad de investigación, mostrando las diferentes aportaciones que consolidan el modelo y se integran en el de manera coherente.

4.1. Contra la toma en consideración de los datos como punto de partida.

Como ya hemos apuntado (HEMPEL, 1976), no se construyen los conocimientos aplicando un proceso de inferencia inductiva a partir de datos recogidos con anterioridad. Más bien al contrario, la

búsqueda de los datos pertinentes se realiza a la luz de las hipótesis emitidas, que son, así, las que nos orientarán la investigación. De esta forma, el hecho de encontrar los datos como punto de partida en la casi totalidad de los enunciados no puede interpretarse de otra forma que como la evidencia de una orientación empirista que se encuentra en las antípodas de lo que significa una investigación, una verdadera resolución de problemas. Es necesario señalar también que la mayor parte de los modelos de resolución de problemas propuestos insisten en tomar los datos como punto de partida (WILKENGREN, 1974; POLYA, 1975; LARKIN y REIF, 1979; METTES et al., 1980; REIF, 1983; JANSWEIJER, ELSHOUT y WIELINGER, 1987) a pesar de la constatación realizada de las dificultades de los alumnos para reconocer estas informaciones. Por lo tanto, esta dificultad no debe sorprender, ya que se produce, precisamente, cuando la búsqueda de los datos no responde a una visión cualitativa y suficientemente reposada de la situación así como a hipótesis precisas. Esta insistencia a propósito de los datos como punto de partida aparece así como un ejemplo de la dificultad para romper con la costumbre, incluso cuando se convierte en un obstáculo para el conocimiento. Es necesario señalar, además, que el peligro de empezar tomando en cuenta los datos se ha señalado muchas veces en la literatura. Se pueden citar al respecto las experiencias realizadas en las que se ha introducido un exceso de datos en el enunciado, datos que son utilizados de manera no-significativa (SELVARATNMAN, 1983) e incluso absurda (BRISSIAUD, 1987). Extrayendo conclusiones de sus investigaciones SELVARATNMAN escribe: «Este ejemplo.....sugiere que, en lugar de centrarse primeramente sobre lo que es necesario para clarificar el problema, muchos estudiantes se lían a manipular los datos y las ecuaciones con las que están familiarizados... Si se empieza por los datos, el peligro de ir en la dirección equivocada es grandísimo» (SELVARATNMAN, 1983). GILBERT (1980) se refiere también a que si la información necesaria se da en el enunciado, los estudiantes no se preguntarán por la necesidad que tienen de resolver el problema. A pesar de esto, estos mismos autores insisten así mismo en la necesidad de «identificar toda la información contenida en el enunciado» (SELVARATNMAN, 1983) y de «mirar muy atentamente los datos» (GILBERT, 1980). Parece evidente, pues, que no es suficiente con darse cuenta de las dificultades e incluso del peligro que hay al considerar los datos como punto de partida, ya que la costumbre hace ver la presencia de los datos en el enunciado como inevitable. Será necesario, por lo tanto, crear las condiciones para una «reflexión descondicionada» en la que esta «inevitabilidad» sea puesta en entredicho. Ya hemos ensayado esto con profesores españoles (GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SENENT, 1988), ingleses (GARRET, GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SATTERLY, 1988) y franceses, proponiendo esta triple pregunta:

1. ¿Qué es un problema?
2. ¿Cómo orientar la resolución de un verdadero problema?
3. ¿Qué es lo que hay en los enunciados habituales que dificulta un abordaje científico de la resolución de problemas y, en particular, quita todo sentido a la formulación de hipótesis?

En todos los casos, los grupos de profesores implicados han denunciado la utilización de los datos como punto de partida. Así mismo, señalan que las informaciones suministradas son todas ellas necesarias y suficientes para que la situación esté completamente cerrada, lo que induce un tratamiento puramente operativo que lleva simplemente a relacionar los datos, las incógnitas y las ecuaciones. Grupos diferentes de profesores con experiencias y antecedentes muy diferentes, han señalado todos ellos lo absurdo de partir de datos, lo que no se corresponde con una comprensión profunda de la situación problemática estudiada. Esta crítica constituye, desde nuestro punto de vista, un paso esencial para desbloquear la enseñanza habitual de los problemas y sus limitaciones. Pero, al mismo tiempo, genera también un cierto malestar ya que cuestiona muy profundamente lo que siempre se ha hecho. Los profesores manifiestan entonces su temor de que al eliminar los datos los enunciados se tornen muy ambiguos y que los alumnos se sientan perdidos. Pero, ¿No es la ambigüedad una de las características esenciales de las situaciones verdaderamente problemáticas? ¿No es uno de los aspectos esenciales de la metodología científica el de concretar las situaciones abiertas y plantear las simplificaciones necesarias?.

El temor a no poder «traducir» los enunciados habituales eliminando los datos es también fácilmente superado y los profesores constatan que la traducción puede hacerse sin dificultades. Así, un enunciado como este: Una barca atraviesa un río de 60 m de ancho con una velocidad constante de 8 m/s que forma un ángulo de 60 grados con la orilla (en el sentido de la corriente). Si la velocidad de la corriente es constante de 2 m/s, ¿Cuál será la deriva de la barca? se traduce así, suprimiendo todos los datos, numéricos o no: Una barca deja la orilla para atravesar un río. ¿A qué punto de la otra orilla llegará? Y, para mencionar otro ejemplo, el siguiente enunciado:

Sobre un móvil de 5000 kg que se desplaza con una velocidad de 20 m/s actúa una fuerza de rozamiento de 10.000 N. ¿Cuál será su velocidad 75 m después de que haya comenzado a frenar? puede traducirse por: Un conductor empieza a frenar al ver el disco rojo. ¿Qué velocidad tendrá el coche cuando llegue al semáforo? o bien: ¿Se estrellará el tren contra la roca?

De hecho, la traducción de los problemas habituales no pone en dificultades a los profesores (GIL y MARTINEZ-TORREGROSA, 1987) y se da así un primer paso muy importante de cara a transformar la resolución de problemas en actividad de investigación. Se puede proponer, entonces, a los alumnos enunciados que hacen absolutamente imposible un tratamiento puramente operativo y que obligan a una metodología significativamente cercana al trabajo científico. Desde luego que es el método didáctico el que se cuestiona y no los enunciados en sí mismos. Modificar los enunciados ayuda en una primera fase a romper los hábitos, pero, una vez adquirida la nueva orientación, se puede volver a los enunciados tradicionales.

4.2. De una situación problemática a un problema concreto.

Casi todos los autores están de acuerdo en atribuir gran importancia a comenzar con un abordaje cualitativo previo a la realización de cualquier cálculo. Las investigaciones efectuadas sobre las diferencias entre «expertos» y «novatos» muestran clarísimamente que los expertos, efectivamente, realizan este análisis cualitativo, mientras que los alumnos, en general, no lo hacen. LARKIN y REIF (1979) atribuyen este comportamiento de los estudiantes a la importancia excesiva que se asigna a las formulaciones matemáticas en la enseñanza habitual de las ciencias, lo que puede hacer creer a los alumnos que la utilización de descripciones vagas es inadecuada e incluso ilegítima dentro de un contexto científico. Y añaden: «Como demuestra nuestro estudio, ¡Esto está muy lejos de ser verdad! Estas descripciones verbales o gráficas son corrientemente utilizadas por los expertos, siendo las herramientas más poderosas para poder tomar las decisiones cruciales que la resolución de un problema exige al comienzo». Por otra parte, es evidente que un abordaje cualitativo inicial es una característica esencial de la metodología científica aplicada a la resolución de un verdadero problema. Como decía Einstein: «Ningún científico piensa con fórmulas. Antes de que el físico empiece a calcular, debe tener en su cerebro el desarrollo de sus razonamientos. Estos últimos, en la mayor parte de los casos, deberían poder ser explicados con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas vienen después».

Cuando se habla de análisis cualitativo, se trata, no solamente de hacerse una idea de la situación -cosa absolutamente necesaria-, sino también de acotarla, de modelizarla y de simplificarla para poder abordarla, de clarificar el objetivo, lo que se busca (aspecto no siempre evidente en las situaciones problemáticas). La importancia de estos aspectos es subrayada por numerosos autores (GILBERT, 1980; REIF, 1983; BIRCH, 1986; DUMAS-CARRE, 1987). Así, se hacen llamamientos a la construcción de esquemas (METTES et al., 1980; GILBERT, 1980; REIF, 1983; CAILLOT y DUMAS, 1987), se señala la importancia de las condiciones ambientales y los peligros de, por ejemplo, olvidar objetos o interacciones, modificaciones de la situación a lo largo del tiempo, etc. CAILLOT y DUMAS-CARRE (1987) han construido herramientas precisas para ayudar en esta fase, poniendo el acento sobre las tomas de decisión. GILBERT (1980) remarca la importancia del debate colectivo para establecer la naturaleza del problema y las características del objetivo buscado. Y mira por donde, nos volvemos a encontrar con otra de las características de la investigación científica. En efecto, la concepción de la resolución de problemas como actividad de investigación está absolutamente de acuerdo con todos los aspectos clave de este abordaje cualitativo inicial que conduce, de una situación problemática abierta, a un problema concreto. Añadimos que el hecho de eliminar los datos -cualitativos o no- del enunciado obliga a realizar este abordaje, a tomar decisiones, a modelizar la situación y a concretizarla, sin posibilidad de pasar directamente a tratamientos operativos.....para los cuales los alumnos no disponen de datos. Queda, evidentemente, por ver si los alumnos pueden realizar ahora este abordaje cualitativo. Los estudios efectuados hasta el momento (GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SENENT, 1988) indican que, en efecto, los alumnos lo hacen cuando se han eliminado los datos. Todavía más, una vez rotos los malos hábitos, ellos continúan haciendo el análisis cualitativo, incluso al encontrarse con enunciados tradicionales con datos (los que no se les proponen hasta pasado un tiempo). Es necesario señalar que a todo lo largo de este proceso inicial, los alumnos empiezan a explicitar conjeturas, más o menos nebulosas, que darán lugar, posteriormente, a hipótesis más concretas. Nos ocuparemos ahora de esta construcción de hipótesis.

4.3. El papel de la construcción de hipótesis en la resolución de problemas.

Ya hemos hecho referencia al consenso general de los epistemólogos sobre el papel central de las hipótesis en el abordaje de verdaderos problemas. En cierta medida, se puede decir que el sentido de la metodología científica -dejando de lado toda idea de «método»- se encuentra en el cambio de un razonamiento basado en «evidencias», un razonamiento que se siente «seguro», a un razonamiento en términos de hipótesis, a la vez más imaginativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente, a imaginar nuevas posibilidades) y riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba cuidadosamente las hipótesis, dudar del resultado, buscar la coherencia global). Así, son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Son las hipótesis -conjuntamente con el corpus de conocimientos, donde ellas encuentran su fundamentación- las que nos permitirán analizar los resultados y todo el proceso y, eventualmente, dar marcha atrás. En definitiva, sin hipótesis la investigación no puede ser sino puro azar, deja de ser una investigación científica.

Podríamos pensar que, hoy en día, es inútil insistir en estas ideas tan conocidas. Desgraciadamente, en cuanto a la enseñanza de las ciencias, es necesario reconocer que el papel de las hipótesis no se toma suficientemente en consideración, y lo más común es que no se coloque jamás a los alumnos en situación de formular hipótesis. Sin duda, esto responde al hecho de que el paradigma dominante en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias es el de la simple transmisión/recepción de conocimientos previamente elaborados (GIL, 1983; MILLAR y DRIVER, 1987). Pero incluso, cuando se intenta dar una orientación más «activa» al aprendizaje, no se encuentran tampoco actividades de emisión de hipótesis. Resulta interesante a este respecto tener en cuenta lo que MARTIN (1982) dice a propósito de los «Mitos de la educación cognitiva»: «En el campo de la educación cognitiva hemos padecido, al menos, dos mitos. El primero ha sido que, para aquellos que enseñan a resolver problemas, el acento curricular debía centrarse exclusivamente sobre saberes elementales excluyendo la posibilidad, para los alumnos, de desarrollar de una manera regular, los de alto nivel.... El segundo mito ha sido que una efectiva intervención para conseguir el desarrollo cognitivo básico debería tener lugar muy pronto, en todo caso, antes de la adolescencia». Estos mitos aceptados de forma más o menos consciente por los enseñantes han sido verdaderas barreras que han impedido, por ejemplo, todo recurso a una actividad tal como la formulación de hipótesis.

De hecho, los estudios que hemos realizado demuestran la capacidad de los alumnos para emitir fundadas hipótesis (GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SENENT, 1988) y para desarrollar otras actividades de las llamadas de alto nivel, como la toma de decisiones (CAILLOT y DUMAS-CARRE, 1987). Precisamente, los problemas sin datos en el enunciado, obligan a los alumnos a pensar en términos de hipótesis, a imaginar cuáles deben ser los parámetros pertinentes y la forma en la que intervienen. Por ejemplo, en un problema como «Un conductor empieza a frenar al ver el disco rojo. ¿Qué velocidad llevará el coche cuando llegue al semáforo?» los alumnos no se limitan a señalar la influencia de, por ejemplo, la fuerza de frenado, sino que son perfectamente capaces de concebir la forma en la que interviene y de considerar casos límites y situaciones especiales con un claro sentido físico (como, por ejemplo, el hecho de que si esta fuerza fuera nula, la velocidad mantendría su valor inicial). Los alumnos, al imaginar y desarrollar hipótesis, continúan el proceso de profundizar en su visión física, cualitativa, de la situación.

Esta emisión y profundización en las hipótesis -teniendo en cuenta situaciones especiales- integra de forma coherente propuestas, a menudo expresadas en los diferentes modelos, sobre el interés en hacer estimaciones a propósito de la respuesta, consideración de casos límite, etc. (METTES et al., 1980; REIF, 1983; BIRCH, 1983; CILLOT y DUMAS-CARRE, 1987), como un medio para facilitar el análisis de los resultados, lo que constituye, efectivamente, uno de los objetivos de las hipótesis.

Es verdad que a veces, incluso muy a menudo, los alumnos introducen ideas «erróneas» cuando formulan hipótesis. Por ejemplo, cuando se pide cuál será la altura máxima a la que llegará una piedra lanzada hacia arriba, muchos alumnos piensan en la masa del objeto como una variable pertinente. Pero esto, lejos de ser algo negativo, constituye, quizás, la manera más eficaz de extraer las preconcepciones de los alumnos. Y es necesario insistir en que -como una abundante investigación ha evidenciado (VIENNOT, 1976; POSTNER et al., 1982; DRIVER y OLDHAM, 1986)- el aprendizaje significativo de conocimientos científicos exige concebir este aprendizaje como cambio conceptual a partir de las ideas intuitivas de los alumnos, que han de ser valoradas.... y cuestionadas. Precisamente, la falsación de las hipótesis que resulta

de la resolución del problema se convierte en un conflicto cognitivo (NUSSBAUM y NOVICK, 1980; KAVANAUGH y MOOMAW, 1981; CLEMENT, 1982; GILBERT et al., 1982) y, por tanto, en una herramienta de cambio conceptual.

Cada vez que los alumnos resuelven un problema sobre la caída de graves, sus preconcepciones pueden aparecer y cada caso se convierte en una ocasión para reforzar el cambio conceptual. Por el contrario, los ejercicios e, incluso, algunos problemas habituales, aunque estén correctamente resueltos, a este respecto, no impiden que un importante porcentaje de alumnos continúen considerando como «evidente» que un cuerpo de masa doble caiga en la mitad de tiempo. Esto no es excesivamente sorprendente porque en la resolución de un problema tradicional no se hace un llamamiento a las ideas de los alumnos: se trata simplemente de tener en cuenta los «datos» y las fórmulas correspondientes (donde la masa no figura). De esta manera, la resolución de problemas recoge una de las ideas clave en la enseñanza de las ciencias, la de cambio conceptual, lo que sin duda otorga al modelo que proponemos mucha mayor validez.

Es necesario añadir que uno de los mayores defectos de las investigaciones sobre resolución de problemas y los modelos en que derivan es, precisamente, el tratamiento aislado que ignora aspectos fundamentales del aprendizaje.

Vamos ahora a ocuparnos de la elaboración de estrategias de resolución que, en nuestra concepción de los problemas como actividad de investigación, están directamente relacionadas con la comprobación de las hipótesis.

4.4. Las estrategias de resolución como tentativas.

Si el corpus de conocimientos del que se dispone -incluyendo en él las preconcepciones más o menos implícitas- juega un papel importante en los procesos de resolución, desde la representación del problema y la manera de modelizar la situación, hasta en las hipótesis que se avanzan, es sin duda en la búsqueda de caminos de resolución dónde su papel resulta más evidente. En efecto, los problemas de lápiz y papel son situaciones que se abordan disponiendo ya de un corpus de conocimientos suficientemente elaborados para permitir la resolución. Su estatus en los libros de texto es el de problemas «de aplicación». Son situaciones que se pueden solventar con los conocimientos ya elaborados, sin que haya necesidad de nuevas verificaciones experimentales, pero sin ser, por otra parte, simples ejercicios de repetición.

Es por tanto lógico que, en la literatura sobre resolución de problemas de lápiz y papel, se dé mucha importancia al buen conocimiento del dominio, entendiéndose por esto «la integración de los diferentes principios en un método coherente, útil para la resolución de los problemas más diversos» (LARKIN y REIF, 1979). Este logro de coherencia, de visión global, es, sin duda, fundamental en las construcciones científicas, pero, también se ha de señalar el peligro de abordos excesivamente particulares que se traducen en la utilización de un número excesivo de fórmulas cada una de las cuales presenta un dominio de aplicación muy restringido. SELVARATNAM (1983) insiste en el hecho de que la cantidad de principios de los que verdaderamente se tiene necesidad para estudiar la mayor parte de los cursos científicos es muy reducido. Aquello no sería sino la tendencia a considerar la resolución de problemas como el «reconocimiento» de algunas situaciones-tipo, lo que lleva a retener en la memoria ecuaciones particulares, que la embotan más de lo necesario.

Por otra parte, si el número de principios a utilizar es relativamente pequeño, el dilema para elegir el principio a aplicar no será una de las mayores dificultades, como a menudo se considera. Una vez más, la cuestión no es «reconocer»: las estrategias de resolución no derivan automáticamente de los principios, que lo único que hacen es enmarcar y delimitar lo que es posible hacer; no basta con recordarlos; las estrategias de resolución son así mismo construcciones provisionales -que parten del planteamiento cualitativo realizado, de las hipótesis formuladas y de los conocimientos que se poseen del dominio particular- por lo que exigen imaginación y prueba. Las estrategias de resolución son, en cierta medida, el equivalente a los diseños experimentales en los problemas que exigen una contrastación experimental y se les ha de encarar como una tarea abierta. Desde este punto de vista, las recomendaciones realizadas habitualmente por los expertos para elaborar planes de resolución, encuentran todo su sentido: así el interés de lo que LARKIN y REIF (1979) llaman «un proceso de refinamiento sucesivo», o de descomponer los

verdaderos problemas. En esta perspectiva, el análisis de los resultados adquiere toda su importancia y, como afirma BIRCH (1986) «la conclusión deberá ser, evidentemente, la necesidad de una revisión que llegue a la completa redefinición de los problemas.....donde el resultado tenga la solución.....En los dos casos, el estudiante habrá ejercitado su imaginación dentro de un marco teórico riguroso y habrá aumentado de forma significativa sus conocimientos utilizables y su *savoir-faire* conceptual y analítico».

Querríamos añadir a estas palabras -que indican clarísimamente la importancia del análisis de los resultados en el proceso de resolución- que, de la misma manera que ocurre en una verdadera investigación, los resultados pueden ser también aquí origen de nuevos problemas. Sería necesario que los alumnos llegasen a considerar este aspecto como uno de los resultados más interesantes de la resolución de problemas, que les lleva, de nuevo, a poner en juego su creatividad.

V. A MODO DE CONCLUSION: LA RESOLUCION DE PROBLEMAS COMO INSTRUMENTO DE CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLOGICO.

La resolución de problemas de lápiz y papel mantiene actualmente un estatus particularmente complejo dentro de la enseñanza/aprendizaje de las disciplinas científicas, concretamente de la física y la química. Por un lado, se la considera un instrumento esencial de evaluación, y aunque este aspecto no ha recibido toda la atención que se merece por parte de la investigación didáctica (DUMAS-CARRE, 1987), esto le otorga una importancia incuestionable, al menos en la práctica.

Por otro lado, el valor de esta actividad como medio de aprendizaje es señalado por casi todos los investigadores que se ocupan de su estudio (ver la introducción). Sin embargo, existe evidencia experimental de que la resolución se traduce -incluso en los enseñantes y libros de texto (GIL y MARTINEZ-TORREGROSA, 1984)- en un abordaje puramente operativo que difícilmente puede contribuir a un aprendizaje significativo y a un porcentaje de éxitos elevado. Además, tanto los alumnos como los enseñantes en ejercicio, manifiestan opiniones muy negativas respecto a esta actividad tal y como se practica habitualmente (GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SENENT, 1988; GARRET, GIL, MARTINEZ-TORREGROSA y SATTERLY, 1988).

Considerando esta situación, nuestro estudio ha intentado fundamentar teóricamente una nueva aproximación a la resolución de problemas, coherente con la naturaleza de los problemas como situaciones para las que no existe una solución evidente. El desarrollo realizado en los párrafos anteriores nos ha permitido enseñar cómo la orientación de la resolución de problemas como actividad de investigación puede integrar, de forma coherente, las aportaciones parciales contenidas en la literatura.

Es particularmente importante volver a encontrar en este campo de la resolución de problemas algunas de las adquisiciones-claves de la investigación didáctica sobre el aprendizaje de las ciencias y, en concreto, la idea de cambio conceptual; es decir, de la necesidad de tener en cuenta las preconcepciones de los alumnos para facilitar su explicitación y crear las condiciones de conflicto cognitivo, necesarias para conseguir un cambio conceptual efectivo. Es aquí, sin duda alguna, donde la emisión de hipótesis y su validación juegan un papel importantísimo.

Querríamos ahora, para terminar esta revisión crítica de la resolución de problemas, insistir en el papel que los problemas de lápiz y papel pueden jugar en el modelo de aprendizaje por cambio conceptual, dentro de la óptica constructivista -de construcción del conocimiento por los alumnos (DRIVER, 1986; DRIVER y OLHAM, 1986)- que se opone a la simple transmisión de los conocimientos ya elaborados. Como ya hemos intentado demostrar (GIL y CARRASCOSA, 1985) el cambio conceptual no tiene lugar si no es acompañado de un profundo cambio metodológico en la forma de abordar las cuestiones, es decir, un cambio metodológico de características similares, en cierta medida, al que históricamente se corresponde con la introducción de la metodología científica y que hizo posible la sustitución del paradigma escolástico -o física del sentido común- por la física clásica. Este cambio metodológico implica, fundamentalmente, la desaparición de la confianza en las «evidencias del sentido común» (GIL y CARRASCOSA, 1985; HASHWEH, 1986) y la introducción de un pensamiento más creativo y vigoroso. Se trata de un cambio nada fácil -no lo fue históricamente- que exige poner de manera continuada a los estudiantes en situación

de colocar los problemas en un contexto teórico dado, de formular hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, etc. Es cierto que estos objetivos exigen que los estudiantes tengan la ocasión de enfrentarse a problemas de tipo experimental, pero su número no puede ser demasiado elevado, incluso en un contexto de currícula no-enciclopédicos -mientras que los problemas de lápiz y papel pueden convertirse más fácilmente en ocasión repetida de abordos científicos, con excepción de la contrastación experimental, reemplazada aquí por la investigación de las coherencias con el cuerpo de conocimientos establecido-.

No se trata, evidentemente, de eliminar la investigación experimental, pero sí de multiplicar las ocasiones de abordos científicos. Lo que contribuye, además, a romper con una visión demasiado inductivista que asocia la metodología científica exclusivamente con experimentación.

Es necesario evitar visiones simplistas como la anterior e insistir en la coherencia global de los conocimientos; los problemas de lápiz y papel pueden poner de relieve con facilidad este aspecto. Además, hay que tener en cuenta las críticas que ven que se asigna, en esta orientación de la resolución de problemas, demasiada importancia a la metodología científica, como si el objetivo de la enseñanza se centrara en la familiarización de los alumnos con esta metodología y no en la adquisición de conocimientos. De ninguna manera se trata de hacer de los «procesos científicos» el objetivo de la enseñanza de las ciencias en detrimento de los conocimientos, como a menudo se ha preconizado; MILLAR y DRIVER (1987) ya han evidenciado las insuficiencias de esta orientación. Pero, incluso si el objetivo fundamental continúa siendo el de hacer adquirir conocimientos de forma significativa -que tengan sentido para el que aprende- es necesaria la participación de los estudiantes en la construcción de los conocimientos (NOVAK, 1988) dentro de la óptica de cambio conceptual (POSNER et al., 1982) y metodológico (GIL y CARRASCOSA, 1985; HASHWEH, 1986). De esta forma, la adquisición de conocimientos y la familiarización con la metodología científica se convierten en objetivos inseparables, donde la resolución de problemas de lápiz y papel aparece como una herramienta esencial para el aprendizaje eficaz, al lado de los problemas experimentales y las actividades de introducción de conceptos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BIRCH, W., 1986, Towards a model for problem-based learning, *Studies in higher education*, 11 (51), 73-83.
- BODNER, G.M. and McMILLAN, T.L., 1986, Cognitive restructuring as an early stage in problem solving, *Journal of Research in Science teaching*, 23 (8), 727-737.
- BRISSIAUD, R., 1987, Quel contrôle de la validité d'un énoncé de problème chez des élèves de cours élémentaire deuxième année, *Rapports de recherches*, (12), 61-88, Paris: INPR editors.
- CAILLOT, M. et DUMAS-CARRE, A., 1987, PROFHY: Un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de Physique, dans *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique*, *Rapports de recherches*, (12), 199-244, Paris: INPR editors.
- CHALMERS, R.F., 1984, *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Siglo XXI: Madrid.
- CHI, M.T.H., GLASER, R. and REES, E., 1982, Expertise in problem solving, In R. Sternberg editor *Advances in psychology of human intelligence*, 5 vol (1), 7-75. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- CLEMENT, J., 1982, Students preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, vol 50, 66-71.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V., 1986. A constructivist approach to curriculum development in science, *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- DUMAS-CARRE, A., 1987, La résolution de problèmes en Physique au Lycée, Thèse d'état soutenue à l'Université Paris 7.
- ELSHOUT, J.J., 1985, Problem solving and education, state of the art paper, Earli conference Lewen June, 1985.
- FAYERABEND, P.K., 1979, *Contre la méthode, esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Paris: Seuil.
- FINEGOLD, M. and MASS, R., 1985, Differences in the processes of solving physics problems between good physics problem solvers and poor physics problem solvers, *Technological Education*, 3, (1), 59-67.
- FREDERICKSEN, N., 1984, Implications of cognitive theory for instruction in problem solving, *Review of Educational Research*, 54, (3), 363-407.
- GABEL, D., SAMUEL, K.V., HELGESON, S., MCGUIRES, S., NOVAK, J. and BUTZON, J., 1987, Science education research, interests of elementary teachers, *Journal of Research in Science Teaching*, 24, (7), 659-677.
- GARRET, R.M., 1986, Problem-solving and creativity in Science Education, *Studies in Science Education*, 13, 70-95.
- GARRET, R.M., 1987, Issues in science education: problem solving, creativity and originality, *International Journal of Science Education*, 9, (2), 125-137.
- GARRET, R.M., GIL, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J. and SATTERLY, D., 1988, Turning exercises into problems; an experimental study with teachers in trainig, *International Journal of Science Education*, (to be published)
- GIL, D., 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de la Ciencias*, 1, 26-33.
- GIL, D. i CARRASCOSA, J., 1985, Science learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, 7, (3), 231-236.
- GIL, D. y MTNEZ-TORREGROSA, J., 1983, A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*. 5 (4), 447-455.
- GIL, D. and MARTINEZ-TORREGROSA, J., 1984, Problem solving in Physics: a critical analysis, In *Research on Physics Education*, Paris: CNRS editors.

- GIL, D. y MARTINEZ-TORREGROSA, J., 1987, *La resolución de problemas de Física*, Madrid: M.E.C. Vicens Vives.
- GIL, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J. y SENENT, F., 1988, El fracaso en la resolución de problemas de Física: una investigación orientada por nuevos supuestos, *Enseñanza de las ciencias*, 6, (2),
- GILBERT, G.L., 1980, How do I get the answer, *Journal of Chemical Education*, 57, 79-81.
- GILBERT, J.K., MICHAEL, D., WATTS, M. and OSBORNE, R.J., 1982, Students' conception of ideas in mechanics, *Physics Education*, 12, 62-66.
- GIORDAN, A., 1978, Observation-experimentation: Mais comment les élèves apprennent-ils?, *Rev Fran Péd*, 44, 66-73.
- GREENO, J.G., 1976, Cognitive objectives of instruction: Theory of knowledge for solving problems and answering questions, In *Cognition and instruction*, NJ: Willey and Sons editors.
- HASEWEH, M.Z., 1986, Towards an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8, (3), 229-249.
- HAYES, J.R., 1981, *The complete problem solver*, Philadelphia, The Franklin Institute Press.
- HELLER, J. and REIF, F., 1984, Prescribing effective human problem solving processes: Problem description in Physics, *Cognition and Instruction*, 1, (2), 177-276.
- HEMPEL, C.G., 1966, *Philosophy of natural sciences*. NJ: Prentice-Hall, Inc.
- HEWSON, P.W. and HEWSON, M.G., 1987, Science teachers' conception of teaching: Implications for teacher education, *Int. J. Sci. Educ.*, 9, (4), 425-440.
- HODSON, D., 1985, Philosophy of science, science and science education, *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- HUDGINS, B.B., 1966, *Como enseñar a resolver problemas en el aula*. Buenos Aires: Paidós.
- JANSWEIJER, W. ELSHOUT, J. and WIELINGER, B., 1987, Modeling the genuine beginner; on the multiplicity of learning to solve problems, Earli conference Tübingen, september 1987.
- KAVANAUGH, R.D., and MOOMAW, W.R., 1981, Inducing formal thought in introductory Chemistry students, *Chemical Education*, 58, 263-265.
- KRULIK, S. and RUDNIK, K., 1980, Problem solving in school mathematics, National council of teachers of mathematics; Year Book, Reston: Virginia.
- LARKIN, J., 1979, Processing information for effective problem solving, *Engineering Education*, December 1979, 285-288.
- LARKIN, J., 1981, Enriching formal knowledge: A model for learning to solve textbook physics problems, In J. Anderson editor *Cognitive skills and their acquisition*, 311-334. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- LARKIN, J., McDERMOTT, J. SIMON, D.P. and SIMON, H.A., 1980, Expert and novice performance in solving physics problems, *Science*, 208, 1335-1342.
- MILLAR, R. and DRIVER, R., 1987, Beyond processes, *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- MARTIN, D., 1982, The «new» thinking skills programs: questions and answers, *Problem solving News Letter*, 4, (11), 1-3.
- METTES, C.T.C.W., PILOT, A. ROOSINK, J.H. and KRAMERS-PALS, H., 1980, Teaching and learning problem solving in science. Part I: A general strategy, *Journal of Chemical Education*, 57, 882-885.
- METTES, C.T.C.W., PILOT, A. ROOSINK, J.H. and KRAMERS-PALS, H., 1981, Teaching and learning problem solving in science. Part II: Learning Problem Solving in a thermodynamics course, *Journal of Chemical Education*, 58, 51-55.
- NOVAK, J.D., 1987, Human constructivism: towards a unity of psychological and epistemological meaning making. Proceedings of the second international seminar on misconceptions and education,
- NOVAK, J.D., 1988, Constructivismo humano: un consenso emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (3)
- NUSSBAUM, J. and NOVICK, S., 1980, Brainstorming in classroom to invent a model: A case study, Jerusalem: Israel Science Teaching Center, The Hebrew University.
- POLYA, G., 1975, *How to solve it?*, NY: Princeton University Press.
- POLYA, G., 1980, On solving mathematical problems in high school. In S. Krulik and R.E. Reys editors *Problem solving in school mathematics*, Reston: Virginia.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. and GERTZOG, W.A., 1982, Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-227.
- PRENDERGAST, W.F., 1986, Terminology of problem solving, *Problem solving News Letter*, 8, (2), 1-7.

- REIF, F., 1983, Understanding and Teaching Problem Solving in Physics, In *Recherches en didactique*, 3-53, Paris CNRS Editions.
- RICHE, N., 1978, Trame pour rédiger un exercice de physique, *Revue Française de Pédagogie*, 45, 183-199.
- SELVARATNMAN, M., 1974, Use of problems in chemistry courses, *Education in Chemistry*, 201-205.
- VIENNOT, L., 1976, *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Tesis Doctoral; Université Paris 7.