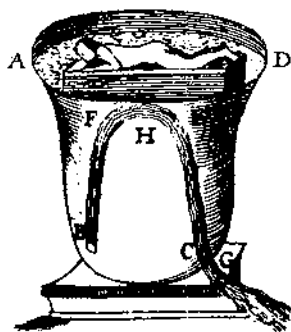


INTERCAMBIOS, COMENTARIOS



Y CRÍTICAS

OTROS TRABAJOS

CORRIENTE ALTERNA Y CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR LAS REDES DE ALTA TENSIÓN

*Amaya, M. J.
Instituto de Bachillerato Silverio Lanza
(Getafe) Madrid.*

Introducción

La voluntad política de evitar el deterioro de nuestro planeta se evidencia en decisiones tales como la de potenciar la educación ambiental (Garrandés y Sa Montero 1983), uno de cuyos principales objetivos según la Conferencia Intergubernamental de Tbilisi (1977) consiste «en que el ser humano comprenda la naturaleza compleja del medio ambiente resultante de la interacción de sus aspectos biológicos, físicos, sociales y culturales. Por consiguiente, ella debería facilitar al individuo y a las colectividades, los medios de interpretar la interdependencia de esos diversos elementos en el espacio y en el tiempo, a fin de promover

una utilización más reflexiva y prudente de los recursos del universo para la satisfacción de las necesidades de la humanidad».

Objetivos

Se intentó empezar a reconstruir la conciencia de nuestra unidad ecológica con la Tierra (Sánchez 1984) desterrando la concepción del «hombre dominador» de la naturaleza y promoviendo la del «hombre integrado» en los circuitos naturales (Novo 1985); describir la importancia histórica de la energía como responsable de las transformaciones sociales y la distribución de la población; exponer las experiencias fundamentales para la producción de corrientes inducidas; usar la ley de Faraday y aplicar la ecuación de la intensidad de corriente alterna; describir un transformador, un generador y un motor eléctrico; revisar los principales efectos de la corriente alterna y los fenómenos ocasionados por las redes de alta tensión reflexionando sobre los problemas de ellos derivados.

Contenidos

1. Visión histórica

Utilización de la energía muscular.
Conocimiento y control del fuego en la edad de piedra.
Uso del agua de los ríos en Mesopotamia para obtener energía.
Empleo del viento para la navegación y molienda en China (2000 aC).
Producción masiva de energía a partir de la revolución industrial (s. XVIII y XIX).

2. Situación actual. Energía eléctrica

Principales líneas de tendido eléctrico en España.
Tecnologías alternativas para la producción de electricidad.
Posibilidades de desarrollo.

3. Ley de Faraday de la inducción electromagnética

4. Corriente alterna: concepto

Intensidad

Valores máximos, instantáneos, medios y eficaces
Pulsación y fase.
Representación vectorial del potencial y la intensidad.

5. Circuitos con resistencia, autoinducción y capacidad

Resonancia en el circuito RCL.
Trabajo y potencia.

6. Propiedades generales de la corriente alterna

Efectos calorífico, químico y magnético.

7. Transformadores

Generadores.
Motores.
Rectificadores.

8. Transporte de la corriente alterna

Contaminación de los ecosistemas.
Efecto corona.
Aumento de la concentración de ozono en el aire.
Smog fotoquímico.
Lluvia ácida.
Nube de iones positivos.
Alteraciones por contaminación electromagnética.
Recomendaciones de la OMS.

Metodología

Atendiendo a la naturaleza de los contenidos se distinguieron tres partes, cada una de ellas con características propias.

La primera se refiere a la visión histórica, (apartado 1), para la que se utilizó una conferencia con coloquio que además de tener un valor intrínseco sirvió de motivación. Posteriormente, como trabajo de campo, se procedió a la confección en pequeños grupos de un mapa relativo a la localización del tendido eléctrico de alta tensión en la zona de ubicación del centro.

La segunda (apartados 2, 3, 4, 5, 6 y 7), que presenta una relativa complejidad conceptual y de desarrollo matemático, (8 y 9), requirió del trabajo en pequeño y gran grupo para hacer posible su comprensión significativa. Fue necesaria la resolución de un número elevado de ejercicios, cuestiones y problemas así como la utilización del laboratorio para las siguientes prácticas: el principio de la magneto, estudio experimental de la resonancia en un circuito RCL y el osciloscopio, y la corriente alterna.

La tercera (apartado 8) involucra conceptos físicos, químicos y biológicos. Se

trabajó en ella la misma forma que en la anterior y con artículos de revistas y diarios.

Conclusión

Los resultados obtenidos con la experiencia pueden considerarse altamente positivos en cuanto a la motivación para el estudio de la corriente alterna y la aplicación de los conocimientos adquiridos en el centro educativo a los problemas que plantea la vida cotidiana. La comprensión del impacto ambiental se produjo para la totalidad de los alumnos pero habría que utilizar sistemáticamente este método de trabajo para obtener avances apreciables desde el punto de vista de la educación ambiental, lo que resulta de vital importancia puesto que «si las tendencias actuales persisten, en el año 2000 el mundo será ecológicamente menos estable y resultará más vulnerable a las perturbaciones que el planeta en que hoy vivimos» (Barney 1982).

Referencias bibliográficas

Barney, G.O., 1982. El mundo en el año 2000. (Tecnos: Madrid).
Garrandés, C. y Sa Montero, C., 1984. Contaminación y salud pública, *Ciencia y Pensamiento*, monográfico Salud Pública en España, pp. 38-48.
Novo, M., 1985. *Educación ambiental*. (Anaya: Madrid).

Sánchez, C., 1984. Las ciencias sociales en la educación medioambiental, *Boletín de Acción educativa*, 28, pp. 17-19.

LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS PRÁCTICOS EN TORNO A SITUACIONES PROBLEMÁTICAS: LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN CARBONATO DE CALCIO DE UNA MUESTRA MINERAL O DE SUELO

Llorens Molina, J.A.
CEP de Valencia.

Introducción

La concepción de los trabajos prácticos como pequeñas investigaciones es una

consecuencia más del intento de fundamentar el aprendizaje de las ciencias en una orientación constructivista del aprendizaje y en los rasgos característicos del desarrollo de los propios conocimientos científicos. Partiendo de este enfoque, la necesidad de ir más allá de la adquisición de conceptos y habilidades puntuales, así como la exigencia de introducir los trabajos prácticos en el marco de un hilo conductor sólido y coherente implica, desde nuestro punto de vista, que este tipo de actividades se desarrolle en torno a situaciones problemáticas caracterizadas por:

a) Su *relevancia conceptual y metodológica*, que exige que los trabajos prácticos pongan en juego un amplio conjunto de contenidos conceptuales y de procedimiento relevantes desde el punto de vista del currículo.

b) Su *relevancia sociocultural*, directamente relacionada con los objetivos últimos de la educación, y que implica abordar problemas que tengan sentido como tales para un alumno que comparte con sus conciudadanos inquietudes y aspiraciones en el contexto de un marco social y cultural determinado. En este sentido es interesante analizar proyectos de enseñanza tales como el Salter's Advanced «A» Level Chemistry, claramente enfocados desde una perspectiva sociocultural de la educación.

El ejemplo presentado a continuación trata de aportar al profesorado de bachillerato, COU o primer curso de carreras científicas un recurso didáctico orientado según esta perspectiva.

La doble relevancia a la que antes aludíamos está en este caso claramente justificada. Desde el punto de vista conceptual pueden desarrollarse los siguientes contenidos:

a) conceptos relacionados con la estequiometría y su aplicación a las reacciones ácido-base y a aquellas en las que intervienen sustancias en estado gaseoso;

b) leyes de los gases y conceptos relacionados: presión parcial, presión de vapor, etc.

Desde el punto de vista de los procedimientos, el problema propuesto tiene también un amplio abanico de posibilidades:

a) diseño de experiencias y análisis de las posibles fuentes de imprecisión;

b) aplicación de técnicas concretas tales como la valoración ácido-base por retroceso y la recogida y medida de gases, etc.;

c) criterios y técnicas para la toma y preparación de muestras de suelo, etc.

En cuanto a la relevancia sociocultural, la presencia de carbonato de calcio en suelos y minerales es importante, principalmente, desde dos puntos de vista:

a) el agrícola, ya que el contenido en carbonato de calcio de los suelos condiciona tanto el desarrollo de determinados cultivos (de hecho, es una práctica habitual añadir caliza a suelos excesivamente ácidos) como la naturaleza de la flora silvestre que crece en ellos;

b) el industrial, ya que la roca caliza se utiliza como materia prima en la construcción y especialmente en la fabricación de cementos, donde es un importante factor para la valoración y tratamiento de las margas utilizadas como materia prima por su contenido en caliza.

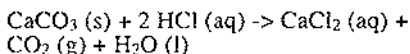
Programa de actividades

El establecimiento de la situación problemática y su investigación a través del trabajo experimental, los concretamos en el siguiente programa de actividades:

1. Citar posibles reacciones químicas que permitan identificar la presencia de carbonato de calcio en una muestra mineral. Discutir su carácter selectivo, es decir, en qué medida se trata de una reacción que afecte solamente al carbonato de calcio presente en la muestra.

Comentar la importancia práctica que puede tener el contenido en CaCO₃ de tierras y minerales.

La efervescencia producida con los ácidos será, con toda probabilidad, la única reacción citada que cumple las condiciones exigidas. Puede llegarse, por tanto, a plantear el esquema de reacción siguiente:



2. Dado el anterior esquema de reacción, proponer, a grandes rasgos, posibles métodos para determinar el tanto por ciento de carbonato de calcio presente en una muestra mineral.

Se trata simplemente, en esta actividad, de proponer los posibles métodos experimentales a utilizar, sin entrar en detalles. A partir de la discusión en pequeños grupos suele proponerse la medida del CO₂ desprendido que puede ser una posible técnica a emplear. Por otra parte, si eliminamos esta posibilidad, tan sólo restan dos alternativas:

a) determinar el HCl consumido;

b) determinar el CaCl₂ formado.

Un mínimo análisis comparativo de ambas posibilidades lleva, a través de la discusión en clase, a optar por la alternativa a, tanto por la mayor sencillez experimental que representa como por los inconvenientes derivados de la desecación y pesada de una sustancia tan higroscópica como el cloruro de calcio. Así pues, las dos técnicas a desarrollar serán:

a) determinación del CO₂ formado;

b) determinación del HCl consumido.

Dichas propuestas coinciden, en sus aspectos esenciales, con técnicas empleadas habitualmente para la determinación analítica de carbonatos que vienen descritas, por ejemplo, en Jackson (1964). Las diferencias estriban, principalmente, en la presencia de operaciones destinadas a aumentar la precisión; por ejemplo, en el método gasométrico basado en el llamado «calcímetro de Bernard» se utiliza como líquido manométrico una disolución ácida, saturada de CO₂, con el objeto de impedir la posible disolución del CO₂ recogido, extremo este que, aunque discutido en clase, puede ser obviado considerando los requisitos de precisión de una práctica escolar.

Método 1

3. Desarrollemos el primer método. Diseñar un montaje experimental que permita recoger y medir el CO₂ desprendido al atacar con HCl (aq) una muestra que contiene CaCO₃. Especificar la lista de material necesario y el esquema del proceso a seguir.

Una sencilla cubeta neumática puede servir perfectamente. Tal vez, dado que las muestras a emplear serán necesariamente pequeñas, puede optarse por introducir un pequeño tubo de ensayo con HCl concentrado en el erlenmeyer, que al volcarse reaccionará con la muestra.

4. ¿De qué manera podríamos evaluar la calidad de este método antes de utilizarlo para determinar el contenido en carbonato de calcio de una muestra mineral?

Esta actividad tiene por objeto plantear la necesidad de verificar el procedimiento experimental utilizando carbonato de calcio puro. Ello da pie a proponer el primer problema de estequiometría y a considerar las principales fuentes de error. Asimismo, podremos ya estimar la masa de la muestra a tomar, para que la deter-

minación pueda realizarse con el montaje elaborado.

5. Dado el volumen del tubo de recogida de gases (habitualmente 50 cm³), calcular la masa máxima de carbonato de calcio que podremos hacer reaccionar. Calcular también el volumen de HCl (1 mol/l o la concentración de que se disponga) necesario.

A través de sencillos cálculos estequiométricos, los alumnos pueden estimar la masa de carbonato de calcio de una pureza dada (viene expresada en el envase) y el volumen de HCl de una concentración determinada que podrán utilizarse para obtener un volumen de CO₂ que no exceda de la capacidad del tubo de recogida (0,2 g de CaCO₃ y 5 cm³ de HCl 1 mol/l permiten desarrollar adecuadamente la experiencia).

6. Considerar las posibles fuentes de error que pueden afectar a la medida del CO₂ desprendido.

Dejando al margen la aproximación consistente en considerar ideal el comportamiento del CO₂, tres pueden ser las principales fuentes de imprecisión:

a) las condiciones de P y T;

b) la presión de vapor del líquido de la cubeta (agua);

c) la solubilidad del CO₂ en agua.

El cálculo del volumen de CO₂ seco en condiciones normales puede plantearse como una actividad opcional paralela. En efecto:

$$p_{\text{CO}_2 \text{ seco}} (\text{mmHg}) \cdot V \text{ medido } / T \text{ ambiente} = 760 \cdot V \text{ en condiciones normales } / 273 \text{ K}$$

siendo p_{CO₂ seco} = p ambiente - p_{H₂O} a la temperatura correspondiente.

Al mismo tiempo será conveniente también situar el tubo de desprendimiento de modo que el nivel de agua en éste coincida con el de la cubeta, de modo que anulemos el efecto de la presión hidrostática correspondiente a la posible diferencia entre dichos niveles.

Si los factores a y b no surgen espontáneamente en la discusión, la siguiente actividad puede llevar a ella.

6. (bis)

a) Tenemos un gas recogido en el tubo de la cubeta neumática. ¿Será este gas la única sustancia presente en el volumen ocupado? ¿Por qué?

b) ¿Cuánto valdrá la presión parcial de dicho gas?

7. Realizar el ensayo con 0,2 g de CaCO_3 y evaluar la precisión del método. Considerar la necesidad de tener en cuenta las correcciones derivadas de la actividad anterior.

La precisión obtenida en la experiencia suele ser suficiente sin necesidad de tener en cuenta las correcciones. Por otra parte, la otra posible fuente de error, la solubilidad del CO_2 , no parece influir, dada la rapidez con que se recoge el gas. No obstante, si se deseara obviar este problema, puede sustituirse el agua por un líquido como el utilizado en el calímetro de Bernard (solución ácida, saturada de CO_2).

Otro posible modo de eliminar el efecto de las fuentes de imprecisión es comparando el CO_2 desprendido a partir de una muestra de suelo en unas condiciones de P y T dadas, con el volumen desprendido a partir de una cantidad dada de CaCO_3 puro, aplicando la correspondiente proporción:

$$V_{\text{CO}_2} \text{ (muestra) / contenido en caliza de la muestra} = V_{\text{CO}_2} \text{ (carbonato de calcio puro) / masa } \text{CaCO}_3$$

y obteniendo el tanto por ciento a partir de la masa de la muestra.

8. Averiguar, consultando la bibliografía pertinente, los contenidos límite en CaCO_3 que pueden tener tierras de labor o margas calizas. A partir de este dato, decidir qué masa de muestra puede emplearse con el montaje utilizado.

En el caso que nos ocupa, la tierra de labor del huerto que hay en los jardines del CEP ha dado un contenido en caliza de un 23%, aproximadamente. Si admitimos un límite de un 30%, podemos emplear una muestra de 0,6-0,8 g, de manera que obtengamos un volumen apreciable de CO_2 pero no superior a 50 cm^3 .

9. ¿Qué requisitos crees que debe cumplir la muestra de tierra seleccionada?

La primera idea y la más obvia es que sea representativa, es decir, que se obtenga mediante un muestreo de la zona o huerto a considerar y sea convenientemente mezclada y tamizada (Melsted y Peck 1973). Éste es un problema extraordinariamente complejo y tan sólo cabe que sea comentado en clase.

Otro factor, más difícil de ser considerado espontáneamente por el alumnado, es el contenido en humedad, éste es enormemente variable y por ello se adopta un criterio fijo al analizar muestras de suelo (concretamente, puede ser la permanencia 24 horas en una estufa a 105 °C).

10. Determina el contenido en caliza de la muestra seleccionada.

Método 2

11. Consideremos ahora el otro posible método experimental: calcular el HCl consumido. Proponer un método experimental para llevar a cabo tal determinación.

Una posible propuesta puede ser añadir el HCl gota a gota y observar cuándo cesa la efervescencia. Con CaCO_3 puro puede ser una técnica relativamente aproximada, si se emplea una concentración de ácido relativamente elevada (con 1 mol/l se aprecia bastante bien, ya que el burbujeo cesa al agitar y la disolución se vuelve transparente). Sin embargo, con muestras minerales, el fin de la efervescencia es difícil de detectar. Sólo añadiendo un exceso de ácido podemos asegurarnos de que la reacción ha sido completa. El problema que se plantea entonces es cómo determinar dicho exceso de ácido.

12. Si añadimos un exceso de ácido con objeto de asegurarnos de que la reacción ha sido completa, ¿cómo podemos determinar exactamente el HCl consumido en la reacción?

La solución está en valorar con NaOH el exceso de HCl utilizando anaranjado de metilo como indicador. Si el ácido empleado tiene una concentración de 1 mol/l la concentración de la disolución de NaOH no puede ser muy pequeña, ya que, si el exceso de HCl añadido es relativamente grande, se emplearía un volumen elevado de NaOH (aq). Una concentración de 1 mol/l o 0,5 mol/l puede ser adecuada.

13. Del mismo modo que en el método anterior, planificar una experiencia que permita evaluar la precisión del método. Elaborar la lista de material necesario, así como el esquema del proceso experimental a seguir.

Del mismo modo que antes, podemos partir de una muestra de CaCO_3 (98% de riqueza). Los resultados obtenidos en un ensayo de este tipo dieron los siguientes resultados:

$$m_{\text{CaCO}_3} = 1 \text{ g}$$

HCl 1 mol/l consumido en exceso: 25 cm^3

dilución con agua destilada hasta 100 cm^3 en un erlenmeyer de 250 cm^3 .

Volumen de NaOH (1 mol/l empleado para la neutralización: 6,2 cm^3 .

(Dado que el factor de la disolución de sosa preparada era 0,96 respecto del ácido utilizado, podemos llevar a cabo la siguiente corrección: 6,2 x 0,96 = 6,0 cm^3 de NaOH 1 mol/l).

HCl reaccionado: 25-6 = 19 cm^3

$$n_{\text{HCl}} = 0,019 \text{ mol} \quad n_{\text{CaCO}_3} = 0,019/2 = 0,0095 \text{ mol}$$

que corresponden a una masa de 0,95 g de CaCO_3 puro

dado que la riqueza es del 98% m_{CaCO_3} puro = 0,95 x 100/98 = 0,97 g

y siendo la imprecisión del 3%

14. Decidir la cantidad adecuada de muestra de suelo para llevar a la práctica este método y elaborar un esquema con la secuencia de operaciones a realizar.

Aplicarlo a una muestra dada y determinar el tanto por ciento de CaCO_3 , comparándolo con el resultado obtenido mediante el desprendimiento de CO_2 .

Referencias bibliográficas

Jackson, M.L., 1964. *Análisis químico de suelos*. (Omega: Barcelona).

Melsed, S.W. y Peck, T.R., 1973. The principles of soil testing, en Walsh, L. y Beaton, J.D. (eds.), *Soil Testing and Plant Analysis*, Amer. Madison (Wisconsin), pp. 13-21.

Salter's Project in Advanced «A» level Chemistry. 1991. Universidad de York, Trial Edition.

UNA MATRIZ CONCEPTUAL ÚNICA PARA LOS DIVERSOS TIPOS DE ENLACE QUÍMICO*

Borsese, A. *Grupo de Didáctica de la Química Università degli studi di Genova*.

Introducción

Como es sabido, las interacciones entre los átomos son siempre representables por fuerzas electromagnéticas que se ejercen entre los electrones y entre éstos y las cargas nucleares. El comportamiento de la materia desde el punto de vista microscópico no está condicionado por ninguna otra fuerza.

Bajo la acción de estas fuerzas, electrones, átomos y moléculas están sujetos a un comportamiento dinámico, cuya descripción requiere el uso de la mecánica cuántica.

Muchos químicos, como Kutzelnigg (1984), sostienen que «el enlace químico es un fenómeno muy complejo que escapa a todas las tentativas de describirlo de un modo simple».

Yo no comparto esta opinión y creo que, en general, no nos debe preocupar tanto la diferencia entre la complejidad de los modelos que se utilizan en concepto de instrumento de interpretación y la realidad que éstos pretenden explicar, como el hacer que los estudiantes sean conscientes del rol provisorio de los modelos, de su significado y de sus limitaciones.

Con respecto al enlace, y puesto que la química es fundamentalmente romper y formar enlaces y siendo, por lo tanto, necesario introducir este concepto en los cursos básicos de química, considero que se puede recurrir a modelos muy simplificados si los instrumentos cognoscitivos que poseen los estudiantes no son adecuados a tratamientos abstractos y formales (Borsese et al. 1981).

En un artículo de Dekock (1987) se dan ejemplos de modelos simplificados relativos al enlace químico.

Las consideraciones que siguen representan un intento de proporcionar un enfoque elemental del concepto de enlace en aquellos casos en que a los estudiantes les faltan los requisitos adecuados para afrontar el tema con mayor profundidad. La peculiaridad de este enfoque consiste en que los diversos tipos de enlace químico se derivan a partir de una única matriz conceptual; se explican además, algunos motivos que justifican su utilidad didáctica en contextos escolares específicos.

La propuesta

El enlace químico es, indudablemente, uno de los temas fundamentales de la química; es un argumento propedéutico e imprescindible para la caracterización y la comprensión de esta disciplina.

En consecuencia, en la enseñanza de la química, se tiende a privilegiar el estudio de las estructuras electrónicas de los elementos y del enlace respecto de todos los otros niveles de organización de la materia¹, en la convicción de que, una vez que los estudiantes tengan claro este nivel, serán capaces de interpretar y, en cierta medida deducir, las propiedades relativas a los otros niveles.

No quiero poner en discusión la validez de tal convicción; deseo sin embargo destacar que las limitaciones de tiempo y espacio a las que está sujeta la enseñanza de la química tienen como consecuencia que cuanto más tiempo se dedica a las

teorías atómicas y del enlace menos se puede utilizar para otros contenidos no menos importantes, como los aspectos energéticos de las reacciones, el equilibrio químico, la cinética, etc.

Puesto que, por otra parte, creo que para caracterizar la química y posibilitar una orientación razonable de los estudiantes es necesario centrar el estudio de esta disciplina en las propiedades y las transformaciones de las sustancias, considero oportuno que en un curso básico de química se reduzca el tiempo dedicado a la estructura electrónica de los elementos y al enlace químico. Según esta hipótesis, es necesario establecer un enfoque del enlace que haga posible la transferencia de este concepto en el menor tiempo posible y que, al mismo tiempo, requiera de los estudiantes la posesión de pocos requisitos para adquirirlo de manera significativa.

Sería muy importante poder definir una matriz conceptual única que permita dar una justificación cualitativa a la tendencia de los átomos a unirse entre sí, sobre todo en un curso de química básica en el cual normalmente se deben alcanzar muchos objetivos en un tiempo decididamente limitado.

En un artículo anterior (Borsese 1987) propongo revalorizar, en el ámbito de los cursos básicos de química, el papel de la carga nuclear eficaz, es decir, de la carga efectiva de los electrones en los átomos, y destaco que las propiedades de los átomos son determinadas por el valor de la capacidad atractiva de sus núcleos hacia los electrones de los otros átomos.

El hecho de que la capacidad atractiva de la carga nuclear de un átomo dado no se limite a los electrones de ese átomo sino que se extienda a los electrones más externos de otros átomos, si bien cada átomo contiene tantos protones como electrones y, por lo tanto, es considerado «eléctricamente neutro», depende de la movilidad de los electrones; esta «deslocalización» tiene como consecuencia una neutralización sólo parcial de la carga positiva del núcleo. Por otra parte, si la carga nuclear fuera perfectamente neutralizada por la carga eléctrica negativa de los electrones del mismo átomo, éste no tendría tendencia alguna a interactuar con otros átomos para combinarse y permanecería aislado.

Se puede, por lo tanto, afirmar que *la razón de la existencia del enlace químico reside esencialmente en el hecho de que la capacidad de atracción de los núcleos no se agota en los electrones del propio átomo sino que se extiende a los de los otros átomos.*

Es justamente esta comprobación la que permite individualizar la matriz unitaria de la cual partir para justificar la formación de los enlaces entre los átomos.

Los átomos «están juntos» debido al efecto de las interacciones coulombianas de atracción; se trata, indudablemente, de un modelo «elemental» de enlace pero, justamente por esto, funcional para un curso básico de química. Y los requisitos necesarios para este modelo son pocos: carga eléctrica, ley de Coulomb, átomo (como partícula constituida por electrones y protones) y carga nuclear eficaz.

Por consiguiente, según el modelo que propongo, *es la fracción de carga no protegida lo que lleva a los átomos a unirse: si dos átomos «se ponen en contacto» sus electrones más externos (aquéllos que se hallan más débilmente ligados a los núcleos de cada átomo) son, de hecho, atraídos simultáneamente por ambos núcleos constituyendo «el vínculo» entre ambos átomos. El valor de esta capacidad atractiva (cuando se combinan dos átomos iguales) o la diferencia entre los valores de las dos capacidades atractivas (cuando se combinan átomos diferentes) conduce a situaciones reales diferentes, correspondientes a los diversos tipos de enlace químico. Así:*

– En el caso en el que la interacción se realice entre un átomo con carga nuclear eficaz muy elevada y uno con carga nuclear eficaz muy baja, el átomo con elevado valor de carga eficaz (es decir, con gran capacidad atractiva sobre los electrones más externos de los otros átomos) se transforma en ión negativo, mientras el otro (caracterizado por un valor muy bajo de carga nuclear eficaz) se transforma en ión positivo. La interpretación que permite hacer el modelo propuesto es que el átomo con un elevado valor de carga eficaz puede «robar», al otro átomo, el electrón o los electrones más débilmente ligados porque este último los retiene con poca fuerza. Ésta es la situación que corresponde al *enlace iónico*.

– En el caso en el que la atracción se manifieste entre átomos distintos pero con valores de carga eficaz similares, puesto que la diferencia entre los valores de la carga eficaz entre los dos núcleos no es tal como para conducir, como en el caso precedente, a la formación de iones, el enlace se manifiesta a través de los electrones que, atraídos por los dos núcleos sin poder ser «capturados» por ninguno de ellos, pertenecen tanto a uno como a otro átomo, constituyendo el vínculo (aunque no estarán ubicados simétricamente respecto de los dos núcleos). Ésta es la situación correspondiente al *enlace covalente «polar»*.

- En el caso de la interacción entre dos átomos iguales con valores elevados de carga nuclear eficaz, ambos atraerán fuertemente, aunque «en la misma medida», a los electrones más externos del otro átomo, y el enlace se manifestará también por la pertenencia de los electrones más externos a ambos átomos; sólo que, en este caso, esos electrones estarán dispuestos simétricamente respecto a los dos núcleos. Ésta es la situación del enlace covalente homopolar.

- En el caso de la interacción entre átomos iguales pero con valores de carga nuclear eficaz bajos, los electrones más externos serán atraídos del mismo modo por todos los átomos que «se ponen en contacto» pero, al estar «poco ligados» a sus propios núcleos, el efecto atractivo «combinado» de los núcleos de los otros átomos los separará de sus propios núcleos, generando un retículo de iones positivos que se «mantienen juntos» debido a los electrones más externos de todos los átomos presentes que pertenecerán simultáneamente a todos los iones. Es el denominado enlace metálico.

De este modo se pueden interpretar todos los tipos de enlace, como se ha visto, en términos de atracción coulombiana entre cargas de signo opuesto. Se trata, ciertamente de un enfoque que, desde el punto de vista cuantitativo y estructural es totalmente insuficiente pero que tiene, a mi modo de ver, el valor de describir el enlace mediante una única matriz conceptual. Este enfoque tiene también la ventaja de requerir poco tiempo para ser transmitido a los estudiantes. Se podría, de todos modos, objetar que el mayor tiempo dedicado por los profesores al enlace químico, en los cursos básicos de química, está justificado por una mayor profundización del concepto.

Para evaluar la validez de esta objeción, resumo sintéticamente el tratamiento didáctico que se da a este tema en los libros de texto de la escuela secundaria superior. Después de una muy breve introducción en la que se explica la formación de enlaces como una «estabilización» del sistema por efecto de la disminución de su «contenido energético», se efectúa una clasificación esquemática de los diversos tipos de enlace. Entre ellos, el único que se considera más extensamente es el enlace covalente: se representa con parejas de electrones, se justifica la formación de tales parejas por la tendencia de los átomos a alcanzar configuraciones particulares (de «octeto») y se

representan las configuraciones electrónicas de los átomos «visualizando» los orbitales con circulitos y cuadraditos y los electrones con flechitas (que pretenden representar el espín). Sin duda, este tratamiento requiere un tiempo decididamente mayor respecto al de la propuesta de este artículo. Tiene, sin embargo, la ventaja de permitir encuadrar muchos comportamientos sobre la base del logro de ciertas configuraciones particulares.

De todos modos, al no conducir a una generalización del concepto de enlace, al no encuadrarlo dentro de los esquemas de la mecánica ondulatoria, es también, un modelo tosco y superficial desde el punto de vista cuantitativo y estructural.

De hecho, una descripción satisfactoria y una interpretación correcta de las características del enlace y de la geometría estructural de los agregados poliatómicos no puede ser concebida sin recurrir a la teoría del enlace de valencia o a la de los orbitales moleculares.

Conclusiones

Creo que, más allá del nivel de profundización al que se quiera o se pueda transferir el concepto de enlace químico, es útil comenzar con una introducción elemental que se limite a lo cualitativo. Desde esta óptica, comenzar a hablar del enlace químico subrayando las diferencias, mostrando los diversos mecanismos de interacción entre los átomos en base a sus diferentes estructuras electrónicas, no me parece una solución didácticamente válida. Pienso que es más correcto introducir el enlace como un fenómeno originado por una única causa. El enfoque que he presentado intenta responder a esta exigencia. Posteriormente, se podrán justificar las diferencias en las situaciones reales de enlace de manera más o menos general y profunda según las exigencias y necesidades de cada situación escolar.

Nota

¹ El patrimonio actual de conocimientos en química permite individualizar cinco niveles de organización en la materia:

a) Estado de agregación: a este nivel se refieren, en general, las propiedades macroscópicas de las sustancias puras como forma y volumen.

b) Estructura de la materia en partículas (átomos y moléculas): permite el estudio de los elementos y de los compuestos mediante las leyes de las combinaciones y la medición de las propiedades físicas.

c) Estructura molecular (organización de los átomos en las moléculas): posibilita la solución del problema de las isometrías; la correlación entre propiedades químicas y estructura molecular mediante el estudio de los grupos funcionales; la utilización de las fórmulas estructurales como modelos para el estudio de las reacciones de adición, eliminación, sustitución, transferencia de electrones; la introducción a la bioquímica.

d) Estructura electrónica de los átomos y de las moléculas: en este nivel se tiene la posibilidad de hacer una interpretación estructural del sistema periódico, de las estructuras moleculares y de sus propiedades mediante la teoría del enlace.

e) Estructura nuclear (de escaso interés en química): permite explicar las transiciones entre los elementos (fusión y fisión); interpretar las emisiones radioactivas y la equivalencia masa-energía.

* Este artículo ha sido traducido del italiano por Silvia Gamero.

Referencias bibliográficas

- Kutzelnigg, W., 1984. Chemical Bonding in Higher Main Group Elements, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, Vol. 23, p. 272
- Decock, R.L., 1987. Chemical Principles Revisited: The Chemical Bond, *J. Chem. Educ.*, Vol. 64(11), p. 934.
- Borsese, A., Dolcetto, V. y Orgera, R., 1981. Una proposta per l'insegnamento della chimica nella scuola secondaria, en *La Chimica e l'Industria*, Editrice di chimica, Milán, n. 6, p. 432
- Borsese, A., 1987. Carica nucleare efficace e proprietà degli atomi, en *CnS, La Chimica nella Scuola*, 4-5, p. 17, (ETAS: Milán).