

Dificultades de comprensión de nociones relativas a la clasificación periódica de los elementos químicos: la opinión de profesores e investigadores en educación química¹

Difficulties in learning about the periodic table: the opinion of teachers and researchers in chemistry education

Dificuldades de compreensão de conceitos relacionados com a tabela periódica dos elementos: a opinião de professores e pesquisadores em educação química

Antonio Joaquín Franco Mariscal²
José María Oliva Martínez³

Recibido: abril 2012
Aceptado: junio 2012

Resumen

En este artículo se analizan las dificultades de aprendizaje de los alumnos de educación secundaria en torno al tema de la clasificación periódica de los elementos. Para ello, se recogen las opiniones de una muestra de profesores de Química y de didáctica de las ciencias obtenidas a partir de cuestionarios escritos y entrevistas individuales semiestructuradas. La información resultante es analizada a partir de un conjunto de ocho dimensiones, correspondientes a diferentes razones que pueden obstaculizar el aprendizaje en este ámbito. Concretamente se proponen estas dimensiones, a saber: 1) aspectos actitudinales, 2) memorización, 3) carencias o preconcepciones en torno a conceptos previos sobre los que se sustenta el tema, 4) desconocimiento o incompreensión de las propiedades que se utilizan como criterios de clasificación, 5) la noción de periodicidad y de percepción de su utilidad, 6) ambivalencia de significados de nociones asociadas a la Tabla Periódica, 7) carácter abstracto de los conceptos implicados y de los razonamientos exigidos y 8) deficiencias en el proceso de enseñanza.

Palabras clave: clasificación periódica de los elementos, dificultades de aprendizaje, obstáculos en educación química, Tabla Periódica.

Abstract

This paper analyzes the learning difficulties of students in secondary education about the subject of the Periodic Table of elements. We present the opinions of a sample of teachers in Chemistry and Science Education obtained from written questionnaires and semi-structured interviews. The information has been analyzed from a set of eight dimensions that allow us to systematize several sources of difficulty and different reasons that may hinder student learning in this subject. Specifically, we propose

1 Artículo de investigación. Resultado de la investigación realizada en el Departamento de Didáctica de la Universidad de Cadiz, España
2 I.E.S. Juan Ramón Jiménez. Málaga, España. Contacto: antoniojoaquin.franco@uca.es
3 Profesor del Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz, España. Contacto: josemaria.oliva@uca.es

these dimensions: 1) attitudinal aspects, 2) memorizing 3) deficiencies about preconceptions in the lesson 4) misunderstanding of the properties used as criteria classification; 5) the notion of periodicity and the perception of its usefulness 6) ambivalence of meanings of notions related with the Periodic Table; 7) the abstract nature of the concepts involved and the reasoning required; and 8) deficiencies in the teaching process.

Keywords: periodic classification of the elements, learning difficulties, obstacles in chemical education, Periodic Table.

Resumo

Este artigo analisa as dificuldades de aprendizagem dos alunos do ensino secundário sobre o assunto da tabela periódica dos elementos. Isso irá refletir as opiniões de uma amostra de professores de Química e Ciências da Educação obtidos a partir de questionários escritos e entrevistas individuais semi-estruturadas. A informação resultante é analisada a partir de um conjunto de oito dimensões, por razões diferentes, que podem dificultar a aprendizagem nesta área. Especificamente, propõe-se estas dimensões, a saber: 1) aspectos atitudinais, 2) Memória 3) lacunas ou preconceitos sobre os conceitos anteriores sobre a qual se baseia o tema; 4) ignorância ou incompreensão dos imóveis utilizados como critérios classificação, 5) o conceito de frequência e percepção da sua utilidade; 6) ambivalência de significados dos conceitos associados à Tabela Periódica, 7) natureza abstrata dos conceitos envolvidos eo raciocínio necessário, 8) as deficiências no processo de ensino.

Palavras-chave: tabela periódica dos elementos, dificuldades de aprendizagem, os obstáculos na educação química, a tabela periódica.

Introducción

La periodicidad de los elementos químicos y su clasificación periódica es un tema considerado hoy como una de las piedras angulares en la historia de la Química (Schmidt, 2003; Scerri, 2007), y constituye también un tema esencial en la enseñanza de las ciencias. Así, desde un punto de vista funcional, la Tabla Periódica ha llegado a equipararse, siguiendo un símil, a una especie de mapa de carreteras de los elementos químicos (Demercioğlu, 2009), constituyendo además una herramienta básica de inducción (Ben-Zvi y Genut, 1998). Ello hace que esta temática sea una de las más frecuentes dentro del repertorio de publicaciones sobre educación química.

Sin embargo, la mayoría de estudios en este dominio se han centrado en problemas de tipo histórico y epistemológico, o relacionados con la búsqueda de estrategias y recursos para su enseñanza en los distintos niveles educativos. Pero se ha dedicado

mucha menos atención a delimitar las dificultades de aprendizaje en este ámbito, o a investigar sistemáticamente el efecto de los recursos y estrategias que se han propuesto para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de este tema. Así, salvo excepciones (Ben-Zvi y Genut, 1998; Franco, 2008; Linares, 2004), se puede considerar un ámbito sobre el que todavía se han realizado pocos estudios de investigación, a pesar de su importancia en el currículum de cursos introductorios de química a nivel secundario y de universidad (Scerri, 2007). Particularmente, se puede constatar que aspectos básicos, como la presencia de los elementos químicos en nuestra vida, la manera en que éstos se estructuran en la Tabla Periódica, la propia utilidad de la misma, los criterios mediante los que organizan los elementos, o las limitaciones que posee el actual Sistema Periódico, son temas en los que los alumnos tienen numerosas carencias debido a

dificultades de aprendizaje de muy diverso tipo que conviene analizar y clarificar. De ahí el interés por demarcar dichas dificultades como paso previo para buscar estrategias y recursos que contribuyan a la superación de las mismas.

En este trabajo se analizan los juicios y opiniones de profesores e investigadores en educación química en torno a las dificultades que suelen tener los alumnos en el aprendizaje de este tema. Se considera que dichos juicios y opiniones son un referente adecuado para aproximarnos al campo, con independencia de que puedan emplearse otras alternativas como el análisis in vivo de dichas dificultades en contextos de aula.

Antecedentes

El tema de las dificultades de aprendizaje en ciencias constituye una de las líneas de investigación más fructíferas de la didáctica de las ciencias. Desde el punto de vista teórico son diversos los marcos de referencia que han servido para delimitar e interpretar dichas dificultades; desde los estudios centrados en el papel del desarrollo cognitivo y los desfases entre las demandas de aprendizaje y las capacidades disponibles, hasta los trabajos orientados desde el paradigma de las concepciones alternativas, pasando por los que atribuyen como causas de dificultad formas inadecuadas de afrontar el proceso de intervención didáctica, o aquellos otros que se sitúan en el ámbito emotivo y de las actitudes. Aportar una visión de conjunto en un área monográfica, como se pretende en este caso, obliga a adoptar una visión integradora y pragmática, contemplando diferentes dimensiones sobre las cuales poner la mirada al abrir el abanico de problemas de aprendizaje, y diversidad de fuentes de dificultad al interpretar sus causas. No es éste el lugar para analizar las bases teóricas de las fuentes de dificultad señaladas, pero sí puede ser oportuno rescatar, de la bibliografía, los pocos estudios existentes para situar después el estudio que aquí se presenta.

Una parte importante de los trabajos desarrollados sobre la Tabla Periódica en revistas de corte educativo constituyen, en esencia, estudios orientados desde una perspectiva histórica y epistemológica.

De hecho, no siempre hay una separación clara entre los estudios realizados desde este enfoque y los de naturaleza didáctica, dado que una parte importante de ellos se mueve en la interfase entre uno y otro campo. No en vano, los problemas didácticos que suelen surgir en relación al *qué* y el *cómo* enseñar en torno a un determinado contenido científico, han sido tradicionalmente elementos claves en la génesis, desarrollo y consolidación del conocimiento científico. Hemos de destacar, por ejemplo, la amplia pléyade de trabajos que pueden encontrarse sobre la Tabla Periódica en revistas como “Journal of Chemical Education” (véase la revisión de Linares e Izquierdo, 2007), muchos de los cuales han contribuido incluso a la propia clarificación teórica de conceptos de Química a nivel avanzado. Ello ilustra la importancia de la clarificación de las ideas a la hora de poder comunicarlas, como también el papel de la comunicación de las mismas en su propio proceso de gestación, esclarecimiento y refinamiento. Por otro lado, debemos considerar también los profundos lazos que existen entre historia y naturaleza de la ciencia, y la propia didáctica de las ciencias. De este modo, conocer el origen y desarrollo de las ideas de la ciencia proporciona pistas para conocer sus dificultades de aprendizaje, así como enfoques y estrategias dirigidas a superarlas. Todo ello, teniendo en cuenta además que la propia naturaleza de la ciencia se ha convertido en un objeto de enseñanza dentro de los currículos.

En un plano más próximo al didáctico, destacan los estudios centrados en el concepto de elemento como sustancia química (Sanmartí, 1990; Furió y Domínguez, 2007), así como en la diferenciación entre elemento y compuesto (Briggs y Holdin, 1986; Caamaño, 1994). Según Linares (2004), el concepto elemento químico sigue siendo ambiguo al utilizarse en la literatura científica para referirse explícita o implícitamente a diferentes conceptos relacionados con él. De esta forma, crea también confusión entre los propios docentes que asocian el concepto de elemento a otros como átomo, sustancia simple, símbolo o especie (Linares, 2005).

Por otro lado, Schmidt, Baumgärtner y Eybe (2003) estudiaron, con una muestra de más de 3.000 alumnos de secundaria, cuáles son las dificultades de aprendizaje del alumnado en los conceptos de

isótopo y alótropo. Según esta investigación, las ideas alternativas de los estudiantes distinguen entre átomos estándar y átomos de isótopos, diferenciándose los primeros en que contienen neutrones y protones en igual número y son más estables. Además, los alumnos consideran que el grafito y el diamante son isótopos, confundiendo de esta forma los elementos isótopos con el fenómeno de alotropía.

En cuanto a las dificultades de aprendizaje en torno al tema de la clasificación periódica de los elementos, los estudios realizados han sido escasos, siendo los trabajos de Linares y colaboradores (Linares, 2004, 2005; Agudelo, Marzábal e Izquierdo, 2009) o Lehman, Koran y Koran (1984), algunos de los pocos estudios en este sentido, a pesar de su importancia en la historia y en el currículo de Química (Scerri, 2007), y de las dificultades detectadas en la práctica docente.

De esta forma, Linares (2004, 2005) estudió la función principal que los profesores asignan a la Tabla Periódica en la enseñanza-aprendizaje de la Química. Entre sus conclusiones destaca que los docentes confieren a la Tabla Periódica funciones didácticas, organizativas y macro. Así, para quienes asignan una función didáctica, la Tabla Periódica es un instrumento que facilita la enseñanza de la Química en general y favorece la construcción de modelos. Para quienes la función principal es la organizativa, ésta sirve para ordenar, predecir y confirmar las propiedades periódicas. Aquellos docentes que le confieren una función macro utilizan este poder organizador y predictivo de la Tabla Periódica para explicar el comportamiento de las sustancias. Asimismo, los profesores evidencian dos lecturas de la Tabla Periódica: una global, que recoge una gran cantidad de información sobre los elementos químicos y que determina su función, y otra parcial, que corresponde a la visión de elemento, es decir, a la interpretación del contenido en cada una de las casillas de la Tabla Periódica.

Por otro lado, la didáctica de las ciencias ha mostrado en numerosos casos cómo una posible fuente de dificultad, así como de las posibles soluciones para abordarlas, estriba en cómo se organizan los contenidos dentro del currículo. En este sentido, Linares (2004) investigó los distintos caminos por

los que acceden los libros de texto universitarios de Química general a la enseñanza de la Tabla Periódica, encontrando tres vías diferentes a las que denominó: sustancialista, histórica y mecánico cuántica atómico. De este modo, el camino sustancialista parte de las propiedades observadas en las sustancias para llegar a la periodicidad; el camino histórico introduce la presentación de la Tabla Periódica a partir de la historia; finalmente, el camino mecánico cuántico atómico parte de la estructura atómica para explicar la configuración de la Tabla Periódica y la variación de las propiedades de los elementos. Según esta investigadora, las propiedades periódicas estudiadas en uno u otro texto dependerían del camino elegido por cada autor. En esta línea, Agudelo, Marzábal e Izquierdo (2009) analizaron si existía una relación entre la narrativa utilizada en los libros de texto de Química general preuniversitarios y la manera de presentar la Tabla Periódica, centrándose especialmente en la noción de elemento químico. Al abordar el libro de texto desde su perspectiva narrativa tuvieron en cuenta dos aspectos: el químico, en los contenidos que se trabajan; y el lingüístico, viendo cómo estos contenidos se exponían mediante un discurso. Entre sus conclusiones destacan que el aprendizaje de este tema no se limita a qué contenidos se trabajan, sino a la forma en que los contenidos se relacionan entre sí, y los modelos bajo los cuales se proponen. Por consiguiente, cabe esperar que una parte de las dificultades que encuentran los alumnos en el aprendizaje de estos temas dependen de las decisiones curriculares adoptadas desde estas diferentes perspectivas y posibilidades.

Por otra parte, Lehman, Koran y Koran (1984) exploraron el efecto que se produce en el aprendizaje del alumno al intentar resolver problemas químicos cualitativos buscando la información en varias tablas periódicas que diferían en su estructura o en sus leyendas aclaratorias. Además, se propusieron resolver los problemas usando un esquema que mostraba diferentes relaciones entre distintos tópicos relacionados con la Tabla Periódica. Lehman con otros autores (1984) encontraron que aquellos alumnos que tenían poca experiencia en el manejo del Sistema Periódico valoraron de mayor utilidad la Tabla Periódica que incluía más información visual. En el caso de los estudiantes familiarizados

con la Tabla Periódica, se observó que eran capaces de dominar la información asociada a cada elemento y a su ubicación. Además, los alumnos con una comprensión verbal alta encontraron más ventajas en las tablas modificadas, mientras que alumnos con una menor comprensión verbal valoraron como más efectiva la Tabla Periódica tradicional con menor información.

Aunque las conclusiones de los estudios citados son de un alto interés para la didáctica de la temática que nos ocupa, es necesario insistir en que la investigación desarrollada en este ámbito es escasa. De este modo, no hemos encontrado en la literatura estudios sobre dificultades de aspectos como los relacionados con la manera en que los elementos se estructuran en la Tabla Periódica, la propia utilidad de la misma, los criterios mediante los que organizan los elementos, o las limitaciones que posee el actual Sistema Periódico. En estos campos se detectan, habitualmente, numerosas carencias en el conocimiento de los alumnos, debido a dificultades de aprendizaje de muy diverso tipo. Todo ello en conexión con el bajo interés que estos temas suelen despertar en los alumnos, si bien, como afirman Karamustafaoğlu (2005), muchas de las dificultades se pueden subsanar empleando otro tipo de materiales no convencionales y más simples.

Diseño de la investigación

El procedimiento utilizado para acceder a las dificultades de comprensión de los estudiantes ha sido la consulta directa a profesores e investigadores en el campo de la educación en Química, una alternativa nada despreciable a la hora de aproximarnos ante este tipo de propósitos. Y ello porque, tanto profesores como investigadores en educación química disponen de un bagaje valioso en cuanto a experiencias y conocimientos sobre los procesos de aprendizaje; en el primer caso, es el resultado de un contacto experiencial directo, rico y valioso en el aula, y, en el segundo, es fruto de un estudio profundo de los referentes bibliográficos o de acceso al campo a partir de la investigación desarrollada.

La muestra utilizada se realizó con trece profesores, todos ellos licenciados en Química y algunos de ellos doctores. De ellos, cuatro eran profesores

de secundaria en ejercicio de la especialidad de Física y Química, sin antecedentes en el ámbito de la innovación e investigación en didáctica de las ciencias (grupo 1); mientras los nueve restantes eran también, en unos casos, profesores activos de Física y Química en centros de secundaria pero con experiencia contrastada en el campo de la investigación e innovación educativa, en otros, profesores universitarios en el ámbito de la educación química o de la didáctica de las ciencias, en general, y en otros concurrían ambas circunstancias (grupo 2).

Se han utilizado dos técnicas de recogida de datos: entrevistas individuales semiestructuradas para el grupo 1, y cuestionarios escritos para el grupo 2. Las preguntas utilizadas en ambos casos eran las mismas y tenían por objeto, entre otras cosas, analizar opiniones acerca de las dificultades más importantes que se suelen encontrar los alumnos en su proceso de aprendizaje en torno a estos temas. Se pensaba que, en el grupo 2, las respuestas obtenidas serían suficientemente explícitas como para no requerir un feedback a la hora de recopilar la información, mientras que, en el grupo 1, sería más apropiado recurrir a una técnica interactiva que asegurase mayores posibilidades de obtener una información amplia y fiable. La tabla 1 presenta las cuestiones planteadas en la toma de datos.

1. ¿En qué curso debería empezarse a abordar el tema de la clasificación periódica de los elementos? ¿Qué contenidos deberían introducirse y en qué orden en los cursos más tempranos en los que dicho tema se aborde?
2. ¿Cómo deberían abordarse estos temas con los alumnos? ¿Qué metodología y qué recursos deberían utilizarse?
3. ¿En qué medida crees que este tema resulta atractivo para los alumnos, y en qué medida suelen sentirse motivados hacia él? ¿Qué aspectos resultan para los alumnos más atractivos? ¿cuáles más áridos?
4. ¿A qué crees que se debe que a los alumnos les resulten áridos algunos de los aspectos que se abordan en este tema?
5. ¿Crees que se tratan de nociones complejas para los alumnos? ¿Cuáles son las nociones que consideras que son más difíciles y complejas dentro de este ámbito?
6. ¿A qué crees que se deben sus dificultades? ¿Qué obstáculos detectas para el aprendizaje de este tema por los alumnos?

Tabla 1. Cuestiones planteadas en el cuestionario y en la entrevista.

Fuente: elaboración propia

La información resultante relacionada con las dificultades de aprendizaje se analizó a partir de un conjunto de ocho dimensiones que nos permiten sistematizar y visualizar distintas fuentes de dificultad y diferentes razones que pueden obstaculizar el aprendizaje de los alumnos en el tema objeto de investigación. Dichas dimensiones serán empleadas como hilo conductor de la exposición de resultados y se presentan a continuación:

Dimensión 1. Aspectos actitudinales

Uno de los aspectos sobre los que fueron consultados los participantes en el estudio se refiere al mayor o menor atractivo del tema para los estudiantes, al ser esta una dimensión a tener en cuenta, junto con los conceptos y los procedimientos, en la formación científica de los alumnos (Gil, 1991; Solbes, 2009). En este sentido, el atractivo del tema puede afectar a los intereses, sentimientos o auto-percepciones del alumno, influyendo en el aprendizaje cognitivo, en unos casos de forma positiva y en otros negativamente (Pintrich, 1993; Reid y Hodson, 1993).

Los entrevistados coincidieron en que la Tabla Periódica es uno de los ejes centrales de la Química, y que así es percibido por los alumnos, lo que en principio les motiva a estudiarla:

“El alumno resulta ser un gran desconocedor del tema en sus primeras presentaciones. Sin embargo, la Tabla Periódica es un paradigma en la Química y algo de eso ya ha oído. Eso lo motiva a estudiar y comprender. El aspecto más atractivo es el descubrimiento de las propiedades similares de los elementos” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

“El tema puede resultar atractivo en la medida que los alumnos se sientan partícipes del mismo. Les suele resultar atractiva la posibilidad de buscar, elaborar y presentar información. El simple hecho de saber cosas sobre el Sistema Periódico les suele atraer, siempre que las comprendan, ya que suelen asociar este tema como central en la Química” (Sujeto 4; realizada por Autores en julio de 2008).

Algunos de los entrevistados se manifestaron, no obstante, en un sentido contrario opinando que

este tema no suele generar intereses y actitudes favorables hacia las ciencias y su aprendizaje:

“De entrada no creo que el tema resulte muy atractivo para los alumnos, ni que estén motivados hacia él, ya que no se trata de un tema que se preste de forma directa a la experimentación y a la espectacularidad, que son dos de los aspectos que llaman la atención de los estudiantes” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

Concretamente, a lo largo de sus respuestas, los sujetos consultados llegaron a delimitar algunas razones que permiten explicar el desinterés detectado en el estudio de este tema. En particular, se destacaba la gran cantidad de información que se proporciona a lo largo del mismo, especialmente el gran número de elementos presentes en la Tabla Periódica:

“Lo más árido es la extensión enorme de la Tabla, con más de cien elementos. La Tabla Periódica es enorme y se aborda excesivamente después de su presentación en el tema del aprendizaje de los símbolos de los elementos. Hay que tener cuidado con la cantidad de información que los alumnos pueden memorizar” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

Otro aspecto árido detectado es el significado vacío que el alumno aprecia en gran parte de lo que ha de aprender acerca de la Tabla Periódica:

“Debido al enfoque más frecuente, memorístico y meramente descriptivo, suelen aprender de memoria muchos nombres que carecen completamente de significado para los alumnos, no teniendo además referente alguno sobre los mismos. Esto tiene además como consecuencia que la participación del alumno sea escasa” (Sujeto 4; realizada por Autores en julio de 2008).

En estos casos, como se puede apreciar, la tarea de memorización es percibida como algo negativo por los consultados, como tendremos ocasión de ver con más detalle en el apartado que sigue. Tal vez si analizamos los matices que ellos aportan, la mayoría de veces la memorización no va acompañada de un proceso paralelo de construir un significado para aquello que se aprende, por lo que

el aprendizaje desarrollado no se puede considerar significativo. Dicha percepción de un significado vacío por parte del alumno también es producida por el uso de conceptos abstractos —potencial de ionización, afinidad electrónica o valencia—, como confirmaron estos comentarios:

“Los conceptos que son más abstractos para ellos suelen ser menos atractivos. Cuando hay que pensar un poco más de lo de costumbre se cansan en seguida y les llega la desmotivación” (Sujeto 13; realizada por Autores en julio de 2008).

“La dificultad se encuentra en que algunas ideas se transmiten a partir de conceptos bastantes abstractos (potencial de ionización, afinidad electrónica y demás)” (Sujeto 7; realizada por Autores en julio de 2008).

A pesar de ello, la mayoría parecía percibir que, en el peor de los casos, el desinterés que este tema podría despertar en los estudiantes no es intrínseco al mismo, sino que depende más bien de la forma en que suele presentarse. De ahí que muchos de ellos opinen que el tema podría resultar potencialmente atractivo, siempre y cuando fuera abordado desde aspectos próximos a los alumnos:

“En la medida que el tema se aproxime a la realidad de los alumnos, más interesante resultará para ellos” (Sujeto 3; realizada por Autores en julio de 2008).

Este comentario hace alusión a la importancia de conectar la ciencia con la realidad del estudiante, en íntima conexión con lo que, en la literatura, se conoce como proceso de alfabetización científica (Acevedo, 2005; Cañal, 2006). De hecho, uno de los sujetos indicó que, incluso temas que no son a priori atractivos sobre el papel, se pueden convertir en llamativos para el estudiante si el docente es capaz de darle un enfoque cercano al alumno y al mundo que le rodea. Una forma de conseguir este acercamiento es mostrando al estudiante la apariencia física real de los elementos:

“Como recurso imprescindible, hay que emplear la Tabla Periódica que muestra las fotos de los elementos, para que el alumno aprecie su apariencia física” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

Así, aprender los nombres y los símbolos químicos de los elementos, como también la labor de clasificarlos, el descubrimiento de las propiedades similares de los elementos o conocer algunas curiosidades de los elementos son otros aspectos que pueden servir para enganchar a los estudiantes:

“Trabajar con la Tabla Periódica puede ser ameno y divertido. La Tabla Periódica resulta muy atractiva para los alumnos y la asocian fácilmente con la Química. Les resulta divertido aprenderse los símbolos de los elementos y clasificarlos” (Sujeto 7; realizada por Autores en julio de 2008).

“Creo que les resulta atractivo conocer propiedades curiosas de los elementos —la superfluidad del helio, la utilización del cloro en la Primera Guerra Mundial como el pionero de la guerra química, la historia del radio, y otras—. También les resulta interesante el descubrimiento, mejor invención, del Sistema Periódico por Mendeleiev” (Sujeto 6; realizada por Autores en julio de 2008).

Según algunos de los entrevistados, y como se recoge en la literatura, este atractivo se puede reforzar aún más si las tareas son planteadas como un reto, como la resolución de una situación problemática abierta que genere interés al estudiante (Bullejos y Sampedro, 1990; Oliva, 1994; Orlik, 2002).

“El tema resultará atractivo si conseguimos transformarlo en un programa de investigación relevante para los estudiantes, incorporando ocasiones para desarrollar las estrategias de una actividad científica en torno a problemas debidamente contextualizados. No es comprensible que el estudiar cómo tuvo lugar la construcción de la ordenación periódica de los elementos, cómo fue evolucionando, a qué preguntas dio respuesta, qué otros problemas planteaba, cómo impulsó el desarrollo de la Química, etc., con toda la riqueza y aventura del pensamiento que eso supone pueda resultar árido” (Sujeto 10; realizada por Autores en julio de 2008).

“La perspectiva de éxito facilita mucho la implicación del alumno. Planteado como un juego en el que el alumno tiene que resolver tareas utilizando la Tabla Periódica, en general, no resulta árido y

responden con interés” (Sujeto 5; realizada por Autores en julio de 2008).

En definitiva, dado el tratamiento que se suele dar a este tema en la enseñanza habitual, basado normalmente en un excesiva memorización, en una alta carga de abstracción y, en ocasiones, incluso, en una posición reduccionista que limita el papel de la Tabla Periódica a un simple recurso instrumental para la formulación química, se corre el riesgo de subvertir el potencial de relevancia que se le supone, convirtiendo el interés en aversión, o incluso en fobia.

Dimensión 2. Dificultades de memorización

En general, la memorización se percibe como una faceta completamente necesaria en el aprendizaje de este tema. Aprender los nombres y los símbolos de los elementos, el lugar que ocupan en la Tabla Periódica y algunos datos concretos, como el de sus valencias principales, son aspectos que, sin obsesionarnos, deben formar parte de la agenda de cualquier profesor a la hora de planificar, a medio plazo, el aprendizaje de los alumnos en este tópico:

“Creo que es inevitable —además de conveniente— la memorización de los elementos de los grupos principales” (Sujeto 9; realizada por Autores en julio de 2008).

“El aprendizaje memorístico puede ser útil en algunas etapas porque tiene una funcionalidad clara: el aprendizaje de nuevos procedimientos” (Sujeto 6; realizada por Autores en julio de 2008).

No obstante, la contribución de esta tarea al aprendizaje de los estudiantes es percibida de manera distinta en unos casos y en otros. Así, en ocasiones, la memorización se percibe como una tarea rutinaria que implica escasa dificultad. De ahí que se considere algo que puede contribuir a corto plazo a fomentar la autoestima de los alumnos y, a la larga, al desarrollo de actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias:

“La memorización de los símbolos y nombres, situándolos en el Sistema Periódico es una tarea rutinaria, pero que, sin embargo, aunque parezca

paradójico, resulta bastante motivadora para muchos alumnos de 3º de E.S.O. (15 años). Esto se debe a que se puede obtener un éxito fácil con un esfuerzo razonable” (Sujeto 5; realizada por Autores en julio de 2008).

Esta opinión contrasta con la idea habitual de que todo lo que suponga memorización constituye un factor actitudinal negativo para los alumnos, y nos hace creer que, con estrategias y recursos adecuados, es posible implicar positivamente al alumnado en el aprendizaje de estos aspectos. Mientras tanto, en otros casos, la memorización se considera como una tarea con repercusiones negativas para las actitudes de los alumnos. De ahí que se considere que el inicio de estos temas no sea el mejor momento para fomentarlas, siendo preferible esperar a ocasiones posteriores:

“Creo que es inevitable —además de conveniente— la memorización de los elementos de los grupos principales. No obstante, esta memorización se debería evitar la primera vez que se trata en el aula este tema, para no hacerlo odioso a los alumnos, pero tampoco postergarla mucho” (Sujeto 9; realizada por Autores en julio de 2008).

“Aprenderse de memoria la Tabla Periódica, o parte de ella, al comienzo del aprendizaje de la Química puede ser un gran obstáculo para interesar a los alumnos en la Química” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

En lo que sí coinciden la mayoría de investigadores consultados es en la idea de que cualquier proceso de memorización debería comportar, a la vez, otro proceso de aprendizaje comprensivo, con el objeto de propiciar que el aprendizaje sea significativo:

“Creo que lo que resulta más árido para los estudiantes es aprenderse de memoria los símbolos y las familias, sin tener cierta comprensión de estos conceptos y sin tener claro el objetivo y la funcionalidad de dichos aprendizajes” (Sujeto 1; realizada por Autores en julio de 2008).

“Un aprendizaje memorístico porque sí, porque es más sencillo, carece de sentido para mí” (Sujeto 6; realizada por Autores en julio de 2008).

Además, de los problemas actitudinales que acarrea la memorización no significativa de estos contenidos, se destacaron también dificultades relacionadas con el propio proceso de memorización en sí, especialmente cuando el objeto de estudio tiene para los alumnos un significado lejano y se recurre a una simbología extraña para ellos. Algunos expertos dieron varias razones para justificar esta dificultad de memorización, como el origen etimológico de los nombres de los elementos y de los compuestos, o el desconocimiento del alumno de la ubicación de los elementos en la tabla:

“Tienen dificultades cuando les obligas a aprenderse símbolos de memoria porque es verdad que no responden al castellano, y hay muchos que son ingleses o términos latinos. La dificultad se encuentra también en las terminaciones, por ejemplo, de plomo para llegar a plúmbico y no a plómico. También les causa bastante confusión el tema de cómo se fueron poniendo los símbolos de acuerdo como se fueron descubriendo, al no ver una secuencia lógica. Por ejemplo, por qué el tántalo es Ta y el talio es Tl, en vez de ser al revés” (Sujeto 1; realizada por Autores en julio de 2008).

Este tipo de dificultades, que podríamos llamar de tipo lingüístico, no suelen ser, a la larga, un problema ofoco de dificultad importante, sobre todo si los comparamos con aquellos de carácter epistemológico. No obstante, se tratande dificultades que tampoco conviene subestimar, por cuanto, a nivel temprano, sí pueden constituir una causa de dificultad para el alumno y, lo que es peor, una fuente de deterioro de sus actitudes.

Dimensión 3. Dificultades debidas a obstáculos en los conceptos previos sobre los que se sustenta el tema

Algunas de las dificultades se atribuyen a deficiencias o lagunas en los conceptos previos de los estudiantes. Particularmente, se refieren como conocimientos previos claves para la comprensión de este tema, nociones como las de: átomo, masa atómica, cambio químico, modelo cuántico o, incluso, aquellos relacionados con la formulación y nomenclatura química. De este modo, en consonancia con los principios constructivistas de corte

ausubeliano (Ausubel, Novak y Hanesian, 1989), se percibe la importancia de los conceptos previos en los nuevos aprendizajes y los obstáculos que, por consiguiente, se originarían ante una deficiente o insuficiente comprensión de los conceptos base:

“Hay una multitud de nociones complejas que anteceden y otras que después están incluidas en el tema de la Tabla Periódica. Las dificultades de los estudiantes se deben a la serie de conceptos complejos que son necesarios de aprender antes de abordar el tema de la Tabla Periódica” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

Para empezar, dado que lo que se clasifica en la Tabla Periódica son sustancias elementales, se asume, como requisito previo, que los alumnos han de saber diferenciar elementos y compuestos, por lo que posibles deficiencias en este sentido pudieran suponer una primera fuente de dificultad. Y ligado a la idea de elemento, se plantea también la importancia de la visión corpuscular de la materia y la noción de cambio químico:

“Debe haberse introducido previamente el tema de la estructura corpuscular de la materia, el concepto de elemento y de compuesto y algo sobre el de reacción química. Finalmente, dentro del tema en sí se hace poco énfasis en introducir el concepto de periodicidad, a través de ejemplos cotidianos” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

El concepto de masa atómica se percibe, por otra parte, como propiedad central para los átomos, que permite diferenciar unos de otros y, además, seriarlos de acuerdo a un orden creciente. Se entiende, a su vez, que dicha noción aparece ligada necesariamente a determinados modelos atómicos, como el de Dalton, que es necesario abordar previamente. Cualquier dificultad en relación a estas nociones podría tener consecuencias negativas en la comprensión del tema:

“La mayor dificultad es el criterio de clasificación: la masa atómica. Deben tener un pequeño conocimiento del átomo —sirve hasta Dalton— y del concepto de masa atómica” (Sujeto 6; realizada por Autores en julio de 2008).

Por otra parte, se considera que, para determinados propósitos, la comprensión del tema pasa por la asimilación previa de modelos atómicos más complejos, siendo necesario disponer de una comprensión, al menos mínima, sobre la estructura interna del átomo y, en ocasiones, de su naturaleza cuántica. Se valora particularmente este ámbito como una fuente especial de dificultad:

“A los alumnos les cuesta un poco entender la configuración de los electrones. Pueden entender bien las propiedades de los elementos, pero no lo que es imaginarse un átomo con los electrones ahí dando vueltas” (Sujeto 2; realizada por Autores en julio de 2008).

Aunque los profesores consultados no llegaron a ser más explícitos al respecto, está claro que se referían a las dificultades para entender la idea misma de cuantización, el concepto de orbital o de nivel de energía, o la propia distribución de niveles en función de los números cuánticos, y los principios utilizados para establecer las configuraciones electrónicas. Aunque estos aspectos no suelen abordarse en profundidad en la etapa obligatoria de la secundaria, algunos de ellos sí están presentes cuando se habla del modelo de capas, como simplificación de esos otros modelos más complejos.

En otro orden de cosas, en relación a las propiedades periódicas de tipo químico, se considera como concepto estructurante también la noción de cambio químico (Balocchi, 2005):

“El tema de reacción química es especialmente complejo, dada la gran cantidad de concepciones alternativas que existen en los estudiantes” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

De hecho, el estudio del cambio químico ha sido uno de los ejes centrales sobre los que se ha desarrollado gran parte de las investigaciones realizadas durante años en el campo de la enseñanza de la Química. En este sentido, los alumnos tienen dificultades para diferenciar combinación química de mezcla (Caamaño, 1994), son reacios a interpretar las reacciones químicas desde un modelo submicroscópico (Furió, 2004), prefiriendo en su lugar el uso de modelos macroscópicos o “cocina”

(Solsona, Izquierdo y De Jong, 2003), y desarrollan concepciones alternativas en torno a la naturaleza del cambio químico (Andersson, 1986; Talanquer, 2005). Se considera, asimismo, el tema de la formulación química como otro espacio clave, probablemente por la importancia que tiene la estequiometría de los compuestos entre los criterios y propósitos de clasificación:

“Es complejo también introducir las fórmulas de hidruros y óxidos, lo cual es impensable sin haber entrado previamente al concepto de los elementos y de reacción química entre ellos” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

Desde esta perspectiva, los problemas de simbolización y modelización, que se plantean en la construcción de fórmulas químicas, deberían entenderse también, indirectamente, como dificultades u obstáculos inherentes a una comprensión plena de la Tabla Periódica y de su proceso de construcción.

Dimensión 4. Dificultades relacionadas con las propiedades que se utilizan como criterios de clasificación

Dentro de los conceptos previos que el estudiante debe poseer, hemos reservado un lugar aparte para referirnos al conocimiento inicial sobre las propiedades de las sustancias, las cuales constituyen la pieza clave sobre la que se articula la idea de clasificación periódica. De esta forma, el alumno debe, en primer lugar, saber qué es una propiedad y cuáles son algunas de las características propias más importantes. Asimismo, deberá identificar, como propiedad de un elemento, su masa atómica y sus características químicas, especialmente en lo que respecta a la estequiometría de sus compuestos. En segundo lugar, debería percibir la existencia de diversidad en las propiedades pero también de aspectos comunes que se repiten sobre las mismas, lo que permitirá identificar cuáles son las propiedades a las que nos referimos al intentar clasificar los elementos:

“Quedaría por comentar la importancia de las propiedades que se eligen para realizar la clasificación o estudiar la periodicidad” (Sujeto 4; realizada por Autores en julio de 2008).

En contraste con la importancia que tiene conocer en qué consiste cada una de las propiedades básicas a las que podemos referirnos, la bibliografía existente nos muestra las enormes dificultades que tienen los alumnos para caracterizar, incluso, las más básicas. De esta forma, como muestran numerosos estudios, los alumnos de educación secundaria tienen muchas dificultades para distinguir, por ejemplo, propiedades extensivas tan elementales como las de masa y volumen (Piaget e Inhelder, 1971; Bullejos y Sanpedro, 1990). En consecuencia, cabe esperar que encuentren dificultades con una propiedad específica que deriva de estas dos, como lo es la densidad. Así mismo, presentan una tendencia generalizada a otorgar características materiales a propiedades como el color, el sabor y otras; a confundir propiedades mecánicas como la dureza o la tenacidad, ya otorgar propiedades térmicas intrínsecas a determinados materiales, como considerar que los metales son “fríos” o la madera “caliente” (Bullejos y Sanpedro, 1990; Pozo, 1991; Sannmartí, Izquierdo y Watson, 1995). Además, de acuerdo con la literatura, el alumnado suele hacer uso de algunas de esas propiedades para explicar los cambios que se producen, pero no los estados, empleando argumentos del tipo “es natural”, “es normal”, “es de sentido común” (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Watts y Taber, 1996; Lawson, 1992), los cuales se deben evitar.

En relación con estas dificultades, los profesores consultados perciben que una fuente importante proviene del desconocimiento y de la complejidad que estos aspectos representan a los alumnos:

“Otra propiedad importante y problemática es el concepto de valencia, cuya definición además ha ido cambiando, aunque quizás no haya que entrar mucho en esta problemática” (Sujeto 4; realizada por Autores en julio de 2008).

No obstante, casi todos los comentarios en este sentido se referían a propiedades de tipo submicroscópico y, de hecho, el propio concepto de valencia al que acabamos de hacer alusión tiene un sentido ambivalente, interpretable como cuantificador que permite identificar y predecir la estequiometría de los compuestos, o como parámetro asociado a la naturaleza eléctrica de los átomos:

“Es preciso que entiendan el significado de la configuración electrónica y, por tanto, de los números cuánticos. Creo que el concepto de valencia es altamente complejo, porque su uso competente lleva implícito una comprensión significativa de enlace, sobre todo en bachillerato (17-18 años), que no llegan a lograr. También que no es lo mismo que la realización automática de las configuraciones por la regla de Möller” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

Desde el punto de vista submicroscópico, los estudiantes parecen tener dificultades, según los entrevistados, para comprender la naturaleza de algunas de esas propiedades atómicas, en parte, porque tampoco entienden muy bien cómo se hacen operativas y se pueden medir:

“El primer problema respecto a propiedad masa atómica es su relatividad y otro cómo se llegó a determinar. Es algo que siempre preguntan los alumnos, y muchos no alcanzan verdaderamente a comprender cómo, por ejemplo, a partir de las relaciones de masa entre sustancias reaccionantes se pueden llegar a conocer masas atómicas” (Sujeto 4; realizada por Autores en julio de 2008).

También También tienen dificultades para identificar y entender las propiedades atómicas, sin duda por su carácter abstracto, al responder a cualidades que no se pueden percibir ni experimentar directamente. Es lo que ocurre, por ejemplo, con propiedades como la electronegatividad:

“Uno de los conceptos fundamentales de este tema es el de electronegatividad, que da la clave para explicar muchas propiedades de los elementos, tanto a nivel absoluto como relativo. Es un concepto difícil de definir, a veces incluso problemático, que no resulta tan difícil de comprender a grandes rasgos mediante la configuración electrónica y la regla del octete” (Sujeto 9; realizada por Autores en julio de 2008).

Por ello, cabe esperar que los alumnos encuentren dificultades al otorgar un sentido a la Tabla Periódica, dado que sirve para clasificar “cosas” que no llegan a entender muy bien en sí mismas. No es de extrañar, por ello, que la idea de periodicidad tampoco sea captada claramente.

Dimensión 5. Dificultades de la noción de periodicidad y de la percepción de su utilidad

Entender la idea de periodicidad implica entender de forma coordinada varios estamentos. De un lado, implica entender que existen diversas propiedades en los elementos químicos y que estas propiedades suelen variar de unos elementos a otros. En este sentido, como hemos visto, surge una primera fuente de dificultad, por cuanto los alumnos no comprenden muy bien las propiedades de los elementos, o por lo menos no acaban de entender a qué propiedades se refieren. En segundo lugar, implica percibir regularidades o aspectos comunes a lo largo de la amplia variedad de elementos existentes. Respecto a este punto, los profesores e investigadores consultados detectaron problemas importantes dignos de mención:

“El concepto de regularidad de una propiedad no es evidente para los alumnos, no suelen asimilar inmediatamente qué significa que una propiedad varíe periódicamente. También deben diferenciar esta variación periódica de las propiedades con el hecho de que en un grupo se encuentren propiedades similares” (Sujeto 4; realizada por Autores en julio de 2008).

En tercer lugar, la idea de periodicidad comporta entender que los elementos pueden ordenarse siguiendo un criterio de complejidad, ya sea de la mano del concepto de masa atómica o, mejor aún, del concepto de número atómico. Finalmente, exige comprender que, siguiendo ese orden, se detectan propiedades que se repiten periódicamente, lo que permite clasificar a los elementos que marcan esos períodos. En este sentido, una parte importante de las dificultades arrancan de la propia noción de periodicidad que implica aunar un criterio de ordenación —ya sea utilizando el peso atómico o el número atómico— y otro de regularidad que implica detectar facetas comunes dentro del amplio margen de propiedades y características consideradas:

“Los alumnos no comprenden lo que significa la periodicidad y el hecho de que se trate de una periodicidad de longitud variable: de 2 (en un único período), luego de 8, después de 18, y

finalmente de 32” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008).

En estas circunstancias, resulta lógico pensar que los alumnos no entenderán la naturaleza de la Tabla Periódica, como intento imaginativo y sistemático de clasificar las propiedades de los elementos, con un valor predictivo para establecer las características y el comportamiento de los mismos. En consecuencia, no entenderán su importancia ni el lugar que ocupa dentro de la Química, como tampoco su papel como modelo científico que impone racionalidad y orden dentro de la enorme variedad y diversidad de comportamientos de las sustancias elementales. Dicha dificultad es evidente en los siguientes comentarios que se refieren a la percepción de los alumnos en relación a la idea de periodicidad:

“Creo que no terminan de ser conscientes de su importancia” (Sujeto 6; realizada por Autores en julio de 2008).

“¿Qué uso se le va a dar a la Tabla Periódica en el aula? ¿Se queda como un instrumento donde memorizas colocaciones y demás historias? Si no le das ningún uso práctico no tiene ningún sentido para ellos” (Sujeto 1; realizada por Autores en julio de 2008).

Este otro tipo de dificultades, que trascienden más allá de los conocimientos específicos, y que atañen a facetas epistemológicas y axiológicas, que son también muy importantes (Solbes, 2009; Gil, 1991) por cuanto conllevan un desconocimiento y el no llegar a valorar el papel de los modelos en la ciencia. Dicha incompreensión de lo que significa un modelo va a repercutir en el aprendizaje y manejo de los propios modelos que se pretenden enseñar, en este caso, en los distintos modelos de la Tabla Periódica desarrollados, incluido el modelo actual.

De igual forma, si no se valora su utilidad, tampoco se podrán valorar sus límites. De esta forma, conviene recordar que los diferentes intentos de clasificación de los elementos que se han sucedido en la historia de la Química, incluido el modelo actual, presentan numerosos logros en cuanto a la capacidad predictiva e interpretativa, pero también dejan algunas lagunas y aspectos poco convincentes.

Entender las limitaciones y los defectos de la Tabla Periódica actual, como el modelo que realmente es, constituye también un valor añadido sobre el que aprender.

Dimensión 6. Dificultades debidas a la ambivalencia de significados en distintos constructos asociados a la Tabla Periódica

Otra dificultad importante consiste en la ambivalencia de significados que afecta a algunos de los constructos asociados con la Tabla Periódica. Más concretamente, nos referimos a los dos niveles que combinan, de un lado el macroscópico y de otro el submicroscópico. En este sentido, la investigación desarrollada en el ámbito de la didáctica de la Química ha puesto de manifiesto, de forma reiterada, las dificultades que encuentran los estudiantes para entender los significados dentro de este último (Novick y Nussbaum, 1981; Caamaño, 1994; Benarroch, 1998; Furió, 2004; Gómez-Crespo y Pozo, 2004), y sobre todo para buscar conexiones y ser capaces de “saltar” de uno al otro. Dicha duplicidad de interpretación es también percibida por los consultados como una fuente de dificultad:

“Otro aspecto importante es la polisemia del término dentro, incluso, del ámbito de la Química. La Tabla Periódica, tal y como aparece en la gran mayoría de los libros de Química y en los murales didácticos (tan presentes en los laboratorios como en las clases de Química) presenta, a la vez, en sus casillas, descripciones de estos dos niveles: el macrocosmos y el microcosmos de los átomos, representados mediante un único símbolo” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

Así, de una parte, la idea de propiedad y, consecuentemente, de clasificación de las mismas, puede entenderse desde un punto de vista macroscópico —punto de fusión, punto de ebullición, conductividad, y demás— o puede referirse a propiedades atómicas —volumen atómico, energía de ionización, electronegatividad, entre otras—. De este modo, para los profesores e investigadores consultados, esta ambivalencia de la idea de propiedad es percibida como causa de dificultad:

“Una dificultad es diferenciar la escala atómica de la escala macroscópica. El Sistema Periódico es una clasificación de átomos, pero se encuentran similares regularidades al clasificar las sustancias elementales correspondientes” (Sujeto 4; realizada por Autores en julio de 2008).

Por otra parte, el concepto de elemento químico, por su propia naturaleza, constituye el eje central de la Tabla Periódica. Y éste puede ser interpretado desde ambas perspectivas, de un lado, en el nivel macroscópico como sustancia simple o elemental que no puede descomponerse en otras más sencillas; y de otro, como conjunto de átomos que tienen el mismo número atómico. Esta duplicidad de la idea de elemento es considerada también como una parte de las dificultades que encierra una adecuada comprensión de la Tabla Periódica, como se deduce de las siguientes afirmaciones:

“Otra dificultad es diferenciar las dos acepciones del concepto de elemento utilizadas en la Química. Elemento puede referirse a sustancias simples (acepción más clásica) o puede referirse a la clase de átomos que tienen el mismo número atómico (acepción más moderna)” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

“Otro aspecto muy complejo es la doble concepción que se da en la IUPAC sobre elemento químico. En esta organización se define elemento químico de dos formas: 1) *A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the atomic nucleus.* 2) *A pure chemical substance composed of atoms with the same number of protons in the atomic nucleus. Sometimes this concept is called the elementary substance as distinct from the chemical element as defined under 1, but mostly the term chemical element is used for both concepts.* La primera definición se refiere al concepto de elemento real, que es un concepto bastante difícil de comprender, mientras que la segunda definición se refiere a la sustancia elemental que aparece fotografiada en algunas Tablas Periódicas. Hay que insistir en el primer concepto mencionado de elemento químico porque los químicos continuamente nos referimos a él” (Sujeto 8; realizada por Autores en julio de 2008)

Sin duda, este es un aspecto que se reproduce en multitud de campos de comprensión de la Química, en donde se presentan, a lo menos, tres niveles diferentes de comprensión y de modelización (Johnstone, 1982; Solsona, Izquierdo y De Jong, 2003). Uno de esos niveles se refiere al ámbito macroscópico representado por todo aquello que corresponde al mundo de lo observable, que podemos manejar, experimentar y medir. Otro se refiere al ámbito submicroscópico —o nanoscópico, como prefieren llamarlo algunos autores— que afecta al nivel molecular, atómico y subatómico. Finalmente, tenemos el nivel simbólico, que puede referirse tanto a uno como otro. Cada uno de estos niveles presenta su propio grado de dificultad, pero sin duda, la mayor de todas ellas la encontramos en la posibilidad de interconectar cada uno de estos niveles de representación con los otros y de navegar a través de todos ellos. En este marco que se dibuja, ante la necesidad de explicar el mundo macroscópico a partir del mundo submicroscópico, surge la dificultad de conectar ambos niveles, tarea que es esencial, por ejemplo, cuando se intenta explicar la periodicidad del comportamiento físico y químico de los elementos a partir de propiedades atómicas y, estas otras, a partir de la configuración electrónica. Dicha labor constituye el núcleo central del tema de la clasificación periódica, y en ella hemos de tener en cuenta la aparición de dificultades cruciales:

“Una de las dificultades más importantes que encuentran los alumnos es establecer la configuración electrónica de los átomos y su relación con la clasificación periódica” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

En paralelo a esta dualidad existe otra, referida a la doble acepción de la idea de elemento químico (McNaught y Wilkinson, 1997), interpretable desde el punto de vista de una sustancia real, o desde la óptica de un componente ideal de los compuestos químicos de los que forma parte:

“Otra dificultad es diferenciar las dos acepciones del concepto de elemento utilizadas en la Química. Diferenciar entre un tipo de átomo y sustancias simples distintas formadas por el mismo tipo de átomo” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

En este mismo sentido, el siguiente ejemplo tomado de Scerri (2008) aclara esta doble acepción:

“Los elementos representan sustancias abstractas que carecen de lo que normalmente consideramos como propiedades y que representan la forma que los elementos toman cuando se presentan en forma de compuestos. Por ejemplo, el sodio y el cloro como sustancias simples (un metal gris y un gas verdoso respectivamente) no están literalmente presentes en el compuesto cloruro de sodio (sal de mesa). Mendeleiev habría dicho que el sodio y el cloro están presentes en el compuesto como los elementos reales o elementos abstractos”.

Se alude en esta afirmación al carácter abstracto de muchas de las ideas de la Química, vertiente a la que hemos querido reservar un apartado específico que se presenta a continuación.

Dimensión 7. Complejidad debida al carácter abstracto de los conceptos manejados y de los razonamientos exigidos

Algunas de las fuentes de dificultad, sugeridas por los consultados, no se llegaban a referir a aspectos específicos de los contenidos, sino que aludían a razones ligadas con la propia complejidad intrínseca de la Química como ciencia. En algunos casos, dicha dificultad era precisada en términos de su carácter abstracto, en el sentido de manejar nociones no directamente perceptibles por los sentidos, sino que se deben imaginar:

“Las dificultades se encuentran en razones inherentes a la naturaleza de los conceptos implicados. Se tratan de conceptos abstractos, lejos de la capacidad de muchos estudiantes que todavía se encuentran en el estadio de las operaciones concretas o, como mucho, en la transición a las operaciones formales” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

Como vemos, en muchos casos, la demanda de pensamiento formal exigido rebasaría las capacidades presentes en los alumnos, que todavía no tienen un dominio sobre las operaciones formales del desarrollo cognitivo. En otras palabras, se señala que existe un desfase entre las capacidades

exigibles y las presentes en el estudiante, lo que contribuye a que muchas de las nociones manejadas, o de los razonamientos que se deben utilizar, no estén al alcance del alumnado:

“Las gráficas sobre valores de propiedades atómicas son, en general, bastante complicadas de comprender para el alumno, con lo que se superponen dos dificultades, comprender la gráfica y la idea de periodicidad. Un problema importante para ellos es que las propiedades dependen de dos variables de periodicidad (grupo y período). Tiene la complejidad que muestran todos los conceptos en Física y Química que dependen de dos o más variables. Además, la dificultad aumenta cuando la propiedad no varía de forma lineal. Por ejemplo, el volumen atómico en función del período” (Sujeto 5; realizada por Autores en julio de 2008).

En este caso, los problemas se centran en las dificultades que surgen cuando el alumnado ha de utilizar conjuntamente dos o más variables a la vez, y cuando ha de interpretar gráficos y tablas, lo cual exige estar en posesión de los procedimientos necesarios y no solo de los conceptos implicados. Particularmente, las dificultades referidas con el uso de diferentes variables a la vez, coinciden con las que se aportan en la bibliografía, en general, para el pensamiento de los alumnos, los cuales suelen tender a reducir el número de variables, considerando que una causa sólo tiene un efecto (Anderson, 1986; Viennot y Rainson, 1992). Esta tendencia, como muestra Lawson (1992), constituye un indicador de las dificultades que encierra el uso del pensamiento formal. No obstante, en la mayoría de los casos, las dificultades planteadas no se perciben como algo insalvable, sino que pueden ser afrontadas en función del propio diseño didáctico y de la forma de trabajar el tema en el aula:

“Lo de la complejidad es relativo. Lo importante es que el profesor tenga claro qué quiere enseñar sobre el tema a sus alumnos y cómo. En este sentido, debe establecer unos niveles claros de progresión conceptual y procedimental del tema, según las capacidades e ideas iniciales de los alumnos. Esto es, establecer distintos niveles aproximativos al tema, con la profundización más coherente para

con sus alumnos y necesidades correspondientes” (Sujeto 7; realizada por Autores en julio de 2008).

Estas opiniones nos llevan a considerar otra fuente adicional de dificultad, como la relacionada con las carencias o deficiencias de la enseñanza.

Dimensión 8. Dificultades debidas a deficiencias en el proceso de enseñanza

Bastantes de los consultados coincidieron en que, sin negar otro tipo de fuente, la principal dificultad proviene de la propia naturaleza del proceso de enseñanza, particularmente por la ambigüedad y la falta de precisión con que, a veces, en la enseñanza de la Química se utilizan estos conceptos, ya sea en los textos como por los profesores:

“Habría que estudiar los obstáculos introducidos por la propia enseñanza. La investigación educativa ha explicado bien las razones, asociadas a la transmisión de una imagen distorsionada y empobrecida de la ciencia” (Sujeto 10; realizada por Autores en julio de 2008).

En unos casos, estos defectos de enseñanza se atribuyen a deficiencias en el proceso de transposición didáctica, lo que afecta a la selección ya la secuenciación de contenidos:

“Pienso que las dificultades del tema se derivan, principalmente, de un tratamiento inadecuado de los contenidos, en relación con los modelos conceptuales de aproximación empleados, los niveles de profundización, la delimitación clara entre las visiones microscópica y macroscópica” (Sujeto 7; realizada por Autores en julio de 2008).

Varios consultados coincidieron también en la escasa conexión existente entre los contenidos y la vida cotidiana del alumno, aspecto que, como vimos, resulta clave para poder atraer su interés y desarrollar actitudes positivas hacia estos temas y su aprendizaje:

“Algunas dificultades se encuentran en razones que tienen que ver con la enseñanza, como la falta de conexión de los conceptos que se enseñan con la vida diaria y su funcionalidad” (Sujeto 11; realizada por Autores en julio de 2008).

En otros casos, los defectos de enseñanza se atribuyen a la visión cerrada y algorítmica que la propia enseñanza suele propiciar:

“Cuando se introduce la periodicidad a partir de las gráficas de las distintas propiedades, normalmente el alumno lo ve como un algoritmo, un conjunto de reglas que le permiten responder a las preguntas del profesor. Pero, en sí, la idea de periodicidad tiene poco sentido para él” (Sujeto 5; realizada por Autores en julio de 2008).

Finalmente, también se responsabiliza a la metodología de enseñanza imperante: “El desarrollo de las clases... las propuestas de actividades..., o un poco de todo...” (Sujeto 7; realizada por Autores en julio de 2008).

En cualquier caso, en todas estas apreciaciones se revelan insuficiencias en los diseños de enseñanza, y no tanto en los obstáculos intrínsecos a los contenidos tratados. Pero, por encima de todos estos problemas centrados en los procesos de planificación e intervención docente, se aprecian problemas que van más allá, pues afectan la capacidad reflexiva del profesor sobre los sucesos y situaciones que tienen lugar en su aula. En este sentido, se considera que, con más frecuencia de lo deseado, el profesorado no reflexiona suficientemente sobre los contenidos que debe enseñar, ni sobre la secuenciación o programación más adecuadas para cada tema y, en su lugar, concede un papel excesivo a la tarea de memorización de sus alumnos:

“En ocasiones, el profesorado no reflexiona sobre todos los conceptos implícitos en el tema de la clasificación periódica, y no se realiza una buena secuenciación de contenidos o la necesidad de una programación en espiral. En muchas ocasiones, los profesores se conforman con un aprendizaje memorístico de los conceptos asociados a la Tabla Periódica, que no es en absoluto significativo” (Sujeto 6; realizada por Autores en julio de 2008).

En algunos casos, también, las carencias apuntadas en los procesos de planificación e intervención docente se atribuyen a un programa sobrecargado de contenidos que apenas deja tiempo para el uso de fórmulas imaginativas que favorezcan procesos de innovación educativa:

“La programación de la materia de Química en los cursos de la E.S.O. (15-16 años) es amplia, y los profesores que la impartimos no tenemos suficiente tiempo para impartirla como nos gustaría (hacer más prácticas en el laboratorio, ir más al aula de informática, ver más videos educativos), de manera que el mayor problema que detecto es el poco tiempo disponible para enseñar los conceptos debidamente” (Sujeto 13; realizada por Autores en julio de 2008).

Haciendo un resumen de todo lo analizado, las dificultades y problemas de aprendizaje en este ámbito se derivan en unos casos de factores actitudinales, muy ligados a la visión que suelen tener los alumnos de este tema, como especialmente propenso a la memorización, factores ligados a carencias en los conocimientos previos o al nivel de abstracción exigido, problemas inherentes a la conceptualización y valoración de la idea de periodicidad o a la polisemia de significados asociados con determinados constructos de la Tabla Periódica o, finalmente, debidos a deficiencias del propio proceso de planificación e intervención didáctica.

Conclusiones

Los entrevistados coinciden en que la Tabla Periódica es uno de los ejes centrales de la Química, aspecto que es percibido también por los alumnos lo que, en palabras de los profesores e investigadores consultados, parece motivarles a estudiarla. Así, aprender los nombres y los símbolos químicos, como clasificarlos, suponen aspectos que suelen “enganchan” a los alumnos, sobre todo cuando se plantean como un reto. Los profesores destacan, como aspectos menos atractivos, la gran cantidad de información que acapara, el significado vacío que el alumno aprecia en gran parte de lo que ha de aprender acerca de ella, el tratamiento didáctico inadecuado en la etapa secundaria o el uso de conceptos abstractos tales como potencial de ionización o afinidad electrónica.

Una parte importante de las dificultades comienza en la propia noción de periodicidad, que implica aunar un criterio de ordenación —ya sea a través del peso atómico o del número atómico— y otro de regularidad. Otra parte proviene de la complejidad

intrínseca de muchas de las nociones que maneja, como sucede en el caso del concepto de valencia o de electronegatividad, la necesidad de interpretar la Tabla Periódica tanto desde un nivel macroscópico como submicroscópico, o la doble acepción de la idea de elemento químico, interpretable desde el punto de vista de una sustancia real, o desde la óptica de un componente ideal de los compuestos químicos de los que forma parte. Asimismo, algunas de las dificultades se atribuyen a deficiencias en los conceptos previos de los alumnos: átomo, masa atómica, cambio químico, formulación y nomenclatura química, entre otros. Se señalan dificultades en el manejo y aplicación de la Tabla Periódica, por ejemplo, cuando se han de utilizar conjuntamente dos o más variables a la vez, o en la interpretación de gráficos y tablas. También se destacan dificultades consecuencia del tratamiento didáctico y metodológico inadecuado que habitualmente se le da a este tema. Finalmente, se mencionan dificultades de memorización, especialmente cuando tiene, para los alumnos, un significado lejano y se recurre a una simbología extraña para ellos.

En resumen, se puede concluir que algunas de las dificultades de aprendizaje encontradas en esta unidad se deben a causas consustanciales con la especificidad del tema, otras se deben a dificultades generales o en temas ajenos al mismo, y otras, finalmente, a formas metodológicas inadecuadas de abordar estos tópicos en la enseñanza. Sobre la base de estas consideraciones, hemos elaborado y ensayado en el aula un diseño de enseñanza que pretende atenuar tales dificultades, favoreciendo el aprendizaje. Para ello, se ha recurrido a juegos didácticos que intentan motivar a los alumnos y desarrollar actitudes favorables hacia el tema y su aprendizaje, dentro del marco integral de una trama de actividades en forma de unidad didáctica (Franco-Mariscal, 2011). Así mismo, el diseño implementado incorpora sugerencias y recomendaciones que se derivan del presente estudio, tanto en lo que concierne a la selección y secuenciación de contenidos, como en lo que respecta a criterios y recursos metodológicos contemplados. En futuros trabajos abordaremos la naturaleza del diseño empleado, así como los resultados obtenidos al objeto de comprobar en qué medida este tipo de recursos contribuye o no a atajar las dificultades señaladas.

Referencias

- Acevedo, J.A.; Vázquez, A.; Martín, M.; Oliva, J.M.; Acevedo, P.; Paixao, M.F. y Manassero, M.A. (2005). "Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 2 (2):121-140.
- Agudelo, C.; Marzábal, A. y Izquierdo, M. (2009). Distintas narrativas para un mismo contenido: la Tabla Periódica en los libros de texto. En: *Enseñanza de las Ciencias, Núm. Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*.
- Andersson, B. (1986). "Pupils explanations of some aspects of chemical reactions". *Science Education*. 70(5):549-63
- Ausubel, D.P., Novak, J.D. and Hanesian, H. (1989). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Balocchi, E.; Modak, B.; Martínez-Martínez, M.; Padilla, K.; Reyes, F. y Garritz, A. (2005). "Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte II. Ideas previas sobre el concepto de reacción química". *Educación Química*. 16 (4):550-567.
- Benarroch, A. (1998). *Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia*. (Tesis Doctoral). Universidad de Granada.
- Ben-Zvi, N. and Gemut, S. (1998). "Uses and limitations of scientific models: the Periodic Table as an inductive tool". *International Journal of Science Education*. 20(3): 351-360.
- Briggs, H. and Holding, B. (1986). Aspects of Secondary students' understanding of elementary ideas in chemistry: Summary report. In: *Children's Learning in Science Project*. University of Leeds.
- Bullejos, J. y Sampedro, C. (1990). "Diferenciación de los conceptos de masa, volumen y densidad en los alumnos de BUP mediante

- estrategias de cambio conceptual”. *Enseñanza de las Ciencias*. 8(1): 31-36.
- Caamaño, A. (1994). *Concepciones de los alumnos sobre la composición y la estructura de la materia y sobre el cambio químico. Comprensión de las formas simbólicas de representación*. (Tesis Doctoral). Universidad de Barcelona.
- Cañal, P. (2006). “La alfabetización científica en el aula”. *Investigación en la Escuela*. (60): 3-6.
- Demircioğlu, H.; Demircioğlu, G. and Çalikb, M. (2009). “Investigating the effectiveness of storylines embedded within a context-based approach: the case for the Periodic Table”. *Chemistry Education Research and Practice*. (10): 241-249
- Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (1985). *Children’s ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Franco, A.J.(2008). “Aprendiendo química a través de autodefinidos multinivel”. *Educación Química*. 19(1): 56-65.
- Franco-Mariscal, A.J. (2011). *El juego educativo como recurso didáctico en la enseñanza de la clasificación periódica de los elementos químicos en educación secundaria*. (Tesis Doctoral). Universidad de Cádiz, España.
- Furió, C. (2004). “Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos”. *Educación Química*. 11(3):300-308.
- Furió, C. y Dominguez, M.C. (2007). “Deficiencias en la enseñanza habitual de los conceptos macroscópicos de sustancia y de cambio químico”. *Journal of Science Education*. 8(2): 84-92.
- Gil, D. (1991): “¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?”. *Enseñanza de las Ciencias*. 9(1): 69-77.
- Gómez-Crespo, M.A. and Pozo, J.I. (2004). “Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes”. *International Journal of Science Education*. 26(11): 1325-1343.
- Johnstone, A.H. (1982). “Macro and micro chemistry”. *School Science Review*. (64,): 295-305.
- Karamustafaoğlu, S.; Coştu, B. and Ayas, A. (2005). “Efficiencies of periodical table material developing with simple tools”. *Journal of Turkish Science Education (TUSED)*. (2):19-31.
- Lawson, A.E. (1992). “What do tests of ‘formal’ reasoning actually measure?”. *Journal of Research in Science Teaching*. 29 (9):965-983.
- Lehman, J.R.; Koran, J.J. and Koran, M.L. (1984). “Interaction of learner characteristics with learning from three models of the Periodic Table”. *Journal of Research in Science Teaching*. 21(9):885-893.
- Linares, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla Periódica en los cursos generales de Química*. (Tesis Doctoral). Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Linares, R. (2005). Elemento, átomo y sustancia simple. Diferentes lecturas de la Tabla Periódica. En: *Enseñanza de las Ciencias, Núm. Extra VII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*.
- Linares, R. y Izquierdo, M. (2007). “La Tabla Periódica”. *Journal of Chemical Education*. (refereciendo en: siglo XX. Tecné, Episteme y Didaxis, 21): 7-23
- McNaught, A. D. and Wilkinson, A. (1997). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology, (The gold book)*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, Blackwell Science.
- Novick, S. and Nussbaum, J. (1981). “Pupils’ Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study”. *Science Education*. 65 (2): 187-196.
- Oliva, J.M. (1994). *Influencia de las variables cognitivas en la construcción de conocimientos de mecánica. Un estudio empírico y un análisis computacional*. (Tesis Doctoral). Madrid: UNED.
- Orlik, Y. (2002). *Química: métodos activos de enseñanza y aprendizaje*. México: Iberoamericana

- Piaget, J. y Inhelder, B. (1971). *El desarrollo de las capacidades en el niño*. Barcelona: Hogar del libro.
- Pintrich, P.R.; Marx, R.W. and Boyle, R. (1993). "Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change". *Review of Educational Research*. 63(2): 167-199.
- Pozo, J.I.; Gómez Crespo, M.A.; Limón, M. y Sanz, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia. Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: Servicio de Publicaciones del M.E.C.
- Reid, D.J. y Hodson, D. (1993). *Ciencia para todos en Secundaria*. Madrid: Narcea.
- Sanmartí, N. (1990). *Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y compuesto*. (Tesis Doctoral). Universidad de Barcelona.
- Sannmartí, N., Izquierdo, M. and Watson, R. (1995). "The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science". *Science Education*. (4): 349-369.
- Scerri, E.R. (2007). *The Periodic Table. Its story and its significance*. New York: Oxford University Press.
- Scerri, E. (2008). "The past and future of the Periodic Table". *American Scientist*. (96): 52-58.
- Schmidt, H.J.; Baumgärtner, T. and Eybe, H. (2003). "Changing ideas about the Periodic Table of elements and students' alternative concepts of isotopes and allotropes". *Journal of Research in Science Teaching*. 40(3):257-277.
- Solbes, J. (2009). "Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): resumen del camino avanzado". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 6(1): 2-20
- Solsona, N.; Izquierdo, M. and De Jong, O. (2003). "Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change". *International Journal of Science Education*. 25(1): 3-12.
- Talanquer, V. (2005). "El químico intuitivo". *Educación química*. 16 (4): 114-122.
- Viennot, L. and Rainson, S. (1992). "Students' reasoning about superposition of electric fields". *International Journal of Science Education*. 14(4): 475-487
- Watts, M. and Taber, K. S. (1996). "An explanatory gestalt of essence: students' conceptions of the 'natural' in physical phenomena". *International Journal of Science Education*. 18 (8): 939-954.