

H																				He
Li	Be											B	C	N	O	F				Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl				Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br				Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I				Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At				Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub									
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

ELEMENTO, ÁTOMO Y SUSTANCIA SIMPLE DIVERSAS LECTURAS DE LA TABLA PERIÓDICA

RITA LINARES

Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Profesora de la Universidad del Valle.

MERCÈ IZQUIERDO

Doctora en Ciencias Catedrática del Departamento de Didáctica de las Matemáticas y Ciencias Experimentales Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona

Una investigación en torno a la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química describe como los profesores universitarios se refieren a ella como objeto de enseñanzas y aprendizaje y su visión de elemento químico.

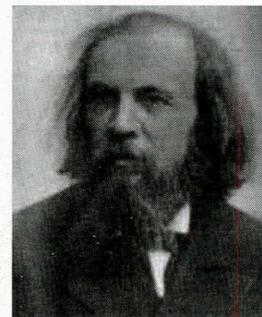
La importancia de la tabla periódica (TP, en adelante), tanto en la enseñanza como en la práctica de la química, es ampliamente aceptada, por ser la fuente de información más sencilla y más distribuida en la química y los campos relacionados con ella. Esta tabla nació en el libro *Principios de química*, de Dimitri Mendeleiev, cuyo destino era la enseñanza en la Universidad de San Petersburgo y su escritura concluyó en la ley periódica, detallada en ocho puntos, que el autor sintetizó en su tabla periódica de los elementos químicos.

No hay duda de que la ley periódica de Mendeleiev es uno de los grandes temas organizadores de la ciencia. La ciencia química acumulada a través de años de investigación se organizó en una tabla, para que la didáctica se nutriera de ella y la llevara a las aulas. El trabajo de Mendeleiev de sintetizar en una *inscripción* gran cantidad de información obtenida tras años de observación constituye un ejemplo del lenguaje propio de las ciencias, que hace posible que los experimentos pasen a formar parte de los textos de ciencias y proporcionen una determinada imagen del mundo que permita la intervención científica y la construcción de una cultura, en un amplio sentido.

El lenguaje científico incluye inscripciones, tales como tablas, fórmulas, esquemas y grabados. Las inscripciones tienen la ventaja de que con ellas se hacen visibles regularidades muy abstractas, difíciles de mostrar de cualquier otra manera a los lectores. Sin embargo, es posible que estos les atribuyan un significado diferente al que les corresponde, de acuerdo con las intenciones del autor; en ese caso, ellas mismas pasan a ser el referente del texto, desplazando al fenómeno del cual se estaba hablando. En ese mismo sentido, algunos afirman que la TP, por buena que sea, necesita de un conocimiento previo para poder aprovecharla adecuadamente.

De otra parte, los descubrimientos sobre la estructura del átomo fueron modificando, a su vez, el sentido de la TP, aunque su formato se conservara muy similar al original. Lo que comenzó como una ley general de comportamiento químico se fue convirtien-

Essai sur la loi des Éléments
18 17 69

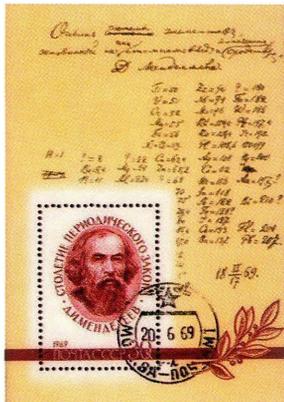


La primera tabla periódica publicada por Mendeleiev (1834-1907), contenía 63 elementos conocidos. Un año después de su muerte, ya eran 86.

do en un sistema ordenado basado en capas de electrones y electrones de valencia. Actualmente, la misma tabla reúne criterios de las dos dimensiones, uno *macroscópico*, que ordena las columnas por la similitud en el comportamiento químico de los elementos que conforman un mismo grupo, y uno *microscópico*, el número atómico, que determina la cantidad de elementos en cada período. Esta mezcla de lenguajes es una fuente de confusión.

En los albores del siglo XXI, todo parece indicar que el concepto *elemento* sigue siendo controvertido. De modo que es posible encontrar a quienes consideran que está inútilmente encumbrado y que la química bien podría prescindir de él, como a quienes ven en él un incuestionable puente de unión entre lo microscópico (*el átomo*) y lo macroscópico (los *cuerpos simples* y compuestos). Por esta razón también, se han hecho muchas propuestas de modificación de la tabla de Mendeleiev, en las que cada autor busca resaltar un aspecto determinado. De ahí que hoy en día se encuentren formatos basados en la configuración electrónica y los números cuánticos, en la abundancia de los isótopos o en las propiedades de las sustancias simples.

Sin embargo, para que los conceptos químicos tengan sentido, tienen que poderse usar en la práctica; no basta con hablar



de ellos, hay que hacer algo con ellos. El concepto elemento, además de una definición, requiere de la manipulación. Por eso resulta tan difícil para los químicos encontrar una única y exacta definición de elemento químico, aunque en la práctica lo conozcan tan bien.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, PREGUNTA Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

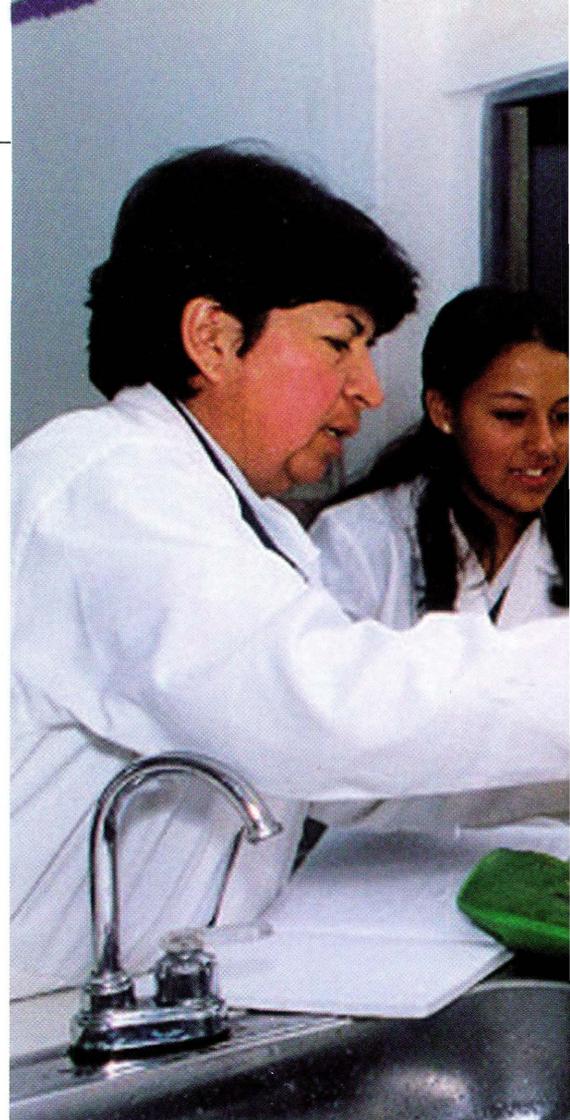
Quizás porque la tabla periódica es un instrumento de trabajo tan importante para la química, su estudio se constituye, de alguna manera, en el eje estructurante de los cursos de química general. Ahora bien, dependiendo del enfoque planteado para el curso o de los intereses o preferencias particulares del profesor a cargo, el estudio de la TP y todo lo que de ella se derive puede ser abordado de muy distintas maneras.

Una primera revisión bibliográfica mostró un panorama de caminos alternos utilizados por los profesores para comenzar la enseñanza de la tabla en cursos generales de química: desde el estudio de las sustancias, desde la historia y desde la estructura atómica.

De otra parte, es bien sabido que los químicos modelizan tanto los fenómenos que observan como las ideas con las que tratan de explicar dichos fenómenos. Esta modelización ocurre en un nivel tanto macroscópico como microscópico, por analogías con lo que ya se conoce. El resultado del proceso es finalmente expresado en una representación concreta, visual, matemática o verbal y, en algunos casos, en el lenguaje propio de la química: los símbolos y fórmulas.

Por lo tanto, el conocimiento químico es ampliamente producido y comunicado mediante el uso de diferentes tipos de modelos, muchos de los cuales consisten en signos con distintos grados de abstracción: desde los modelos tridimensionales de esferas y palitos, hasta la TP y las fórmulas químicas o el uso de las analogías.

Todo lo anterior lleva a concluir que las analogías, bien utilizadas, no solo facilitan el aprendizaje de nuevos conocimientos a partir de algo familiar, sino que constitu-



DE AHÍ SURGIÓ LA PREGUNTA CENTRAL CUANDO

yen un elemento clave en la construcción de modelos que acerquen la ciencia de los científicos al ámbito escolar.

Así, la inquietud por la transformación del significado de la tabla periódica, la polisemia y ambigüedad del concepto elemento y el interés por conocer más profundamente las ideas de los profesores acerca de la enseñanza de la TP en los cursos de química general, se conjugaron para dar lugar al siguiente *planteamiento del problema*: de la lectura que se haga de la tabla y de la interpretación del concepto elemento depende lo que cada quien considere que debe ser enseñado bajo el título tabla periódica. De ser así las cosas, el contenido y la orientación de los cursos estarían determinados más por el profesor que por la unidad académica que los ofrece, con lo cual asignaturas





DE LA INVESTIGACIÓN: ¿QUÉ QUIEREN ENSEÑAR LOS PROFESORES Y PROFESORAS CON LA TABLA PERIÓDICA EN LOS CURSOS GENERALES DE QUÍMICA EN LA UNIVERSIDAD?

denominadas de la misma manera dejarían de ser, en la práctica, equivalentes.

De ahí surgió la *pregunta central de la investigación*: ¿qué quieren enseñar los profesores cuando explican la tabla periódica en los cursos generales de química en la universidad? Contestarla requirió de la realización de tres investigaciones simultáneas: una con docentes de química general del Departamento de Química de las universidades del Valle y Autónoma de Barcelona; otra consistió en el análisis del libro de Mendeleiev, como fuente primaria de todo el proceso que acompañó la gestación de la ley periódica y de la TP. Además, considerando la importancia de los libros de texto en el diseño, planeación y preparación de los cursos, se revisaron 27 libros, entre los más utilizados en las últimas décadas del siglo XX en la Universidad del Valle. Finalmente, puesto

que tanto los profesores como los libros de texto se nutren de la literatura científica para llevar el conocimiento hasta las aulas, se hizo una revisión del *Journal of Chemical Education* desde su primer volumen, siguiendo la pista de lo que ahí se ha publicado bajo el título principal de *Tabla Periódica*.

En este artículo interesa describir cómo se refieren los profesores a la TP como objeto de enseñanza y aprendizaje y cuál es su visión de elemento químico. Centrados en el planteamiento del problema y en el antecedente del uso que los profesores hacen de las analogías para explicar la tabla y las propiedades periódicas, surgen los siguientes *supuestos de partida* de este trabajo:

- 1) Si la TP y cada una de sus casillas es la representación analógica de fenómenos y, además, los que imparten los cursos



38

universitarios de química utilizan analogías como herramientas didácticas para extraer la información contenida en ella, debería existir una relación entre *fenómeno, signo y analogía*; 2) si existen diferentes lecturas de la TP la función que cada profesor le asigne en sus cursos estará determinada por la doble interpretación de esta inscripción (de la TP como un todo y de lo que hay en cada casilla), y 3) en la literatura se presentan varios caminos alternos para acceder a la TP. Sin embargo, si los profesores tienen una formación más científica que histórica, deben abordar el estudio de la tabla desde la perspectiva de la mecánica cuántica, enfocada en las propiedades microscópicas de los átomos, y es probable que no hagan mayor referencia a las propiedades macroscópicas de las sustancias, ni repasen la historia que llevó al sistema periódico.

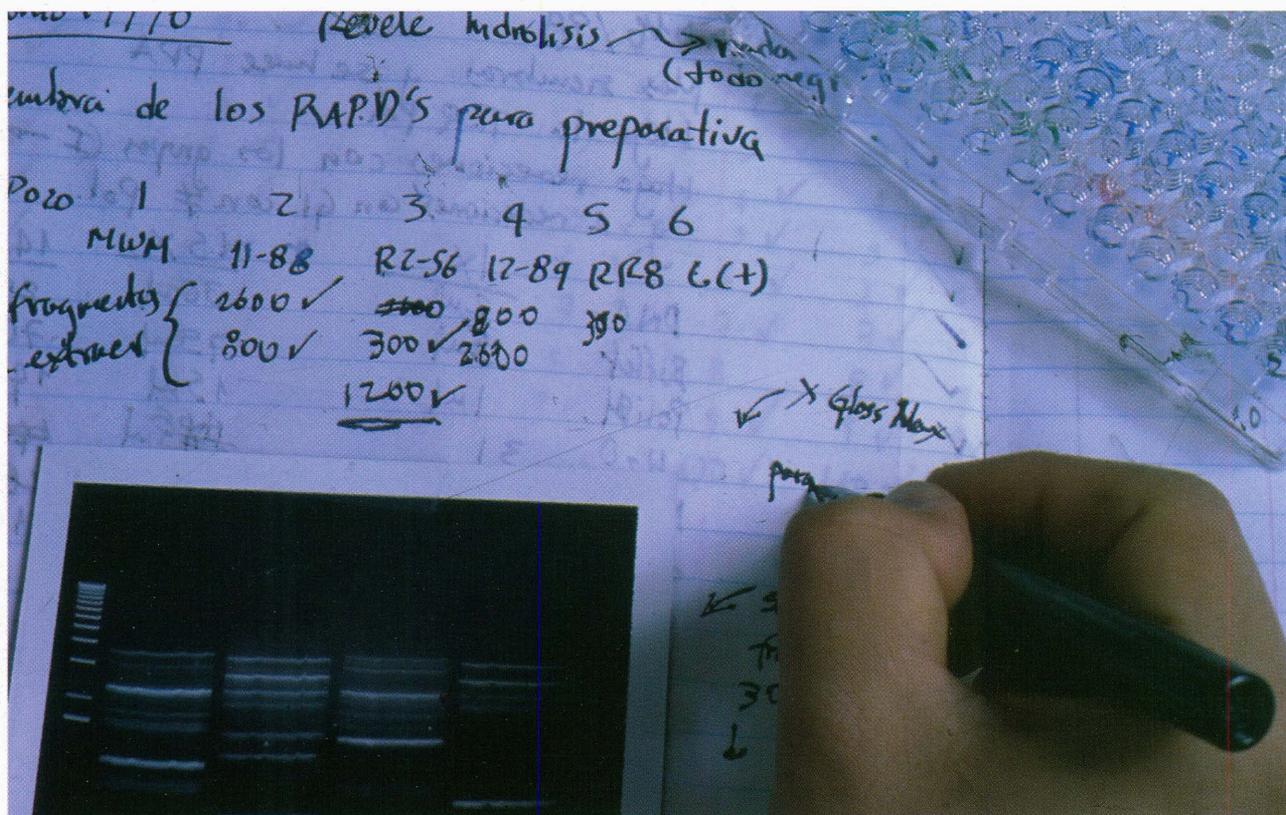
Basados en los anteriores supuestos y retomando el problema, las dos *preguntas que guiaron el trabajo* fueron: ¿cómo leen los profesores la tabla? y ¿qué quieren enseñar cuando la explican en los cursos generales de química?

Con los planteamientos presentados hasta este momento, los *objetivos* de este trabajo son: a) conocer el principal interés de los profesores de los cursos de química general de las universidades mencionadas al enseñar la TP; b) analizar si existe distinción entre elemento, átomo y sustancia simple; c) analizar la lectura e interpretación que hacen de la TP los profesores en los cursos; d) determinar cuál punto de partida prefieren, si el histórico, el mecánico cuántico, el estudio de las propiedades físicas y químicas de las sustancias u otro alternativo; e) indagar por las propiedades atómicas consideradas de interés por los profesores y conocer de qué manera las relacionan entre sí, y f) analizar el uso que hacen de las analogías al presentar el tema en los cursos generales de química.

METODOLOGÍA

Este artículo hace referencia únicamente a lo concerniente al trabajo con los profesores de química general. La investigación se basó en métodos cualitativos, con cuestionarios semiabiertos y de respuestas cortas, entrevistas, reflexiones a viva voz y la estimulación





de recuerdos. Se utilizaron, concretamente: a) un cuestionario semiabierto sobre la enseñanza de la TP; b) dos entrevistas sobre su enseñanza en los primeros cursos universitarios, una para identificar la función asignada a la TP en sus cursos y otra para conocer las visiones de elemento, y d) un cuestionario semiabierto y una entrevista sobre el uso de las analogías en los cursos, vistas como herramientas didácticas en la transposición.

DISEÑO DEL ANÁLISIS DE LOS DATOS

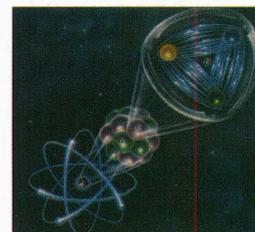
El análisis de datos se realizó alrededor de tres ejes que resumen los objetivos del trabajo en lo referente a los profesores: a) ¿qué función asignan a la TP en un curso de química general?; b) ¿qué visión tienen de elemento químico? y c) ¿cuál es el uso de las analogías que hacen?

Para poder determinar la función, se hicieron entrevistas y se aplicó un cuestionario, que fue el primer acercamiento para conocer las ideas de los profesores respecto a qué, cómo y cuándo enseñar la tabla periódica en un curso de química general.

Al analizar los resultados, se evidenció que había sido demasiado cerrado y conducido; sin embargo, sirvió para triangular datos, observar la coherencia o incoherencia del discurso de los profesores respecto a algunos conceptos, como el de elemento, y para comparar algunos aspectos con los encontrados en los libros de texto.

Con la primera revisión de la primera entrevista, se corroboró la incoherencia respecto al concepto elemento y la polisemia y la ambigüedad previstas. Una vez realizada la segunda entrevista y la revisión y análisis de los artículos del Journal of Chemical Education –siguiendo un poco más de cerca los desarrollos y controversias que se dieron alrededor de la tabla periódica a lo largo del pasado siglo–, se analizó, discutió y tabuló la primera entrevista pregunta a pregunta.

El análisis de las respuestas a las dos primeras preguntas marcó el derrotero de la clasificación inicial de los profesores en tres grupos, de acuerdo con la función que cada uno asigna a la enseñanza de la tabla periódica en su curso. Para determinar



la visión de elemento químico, fue necesario preguntar más explícitamente qué significaban para ellos los conceptos elemento, átomo y sustancia simple. En este sentido, se diseñó la segunda entrevista, en particular sus tres últimas preguntas. Con ella se buscaba llenar los vacíos encontrados en el cuestionario y en la primera entrevista.

Por una parte, interesaba tener las definiciones explícitas de cada profesor sobre elemento, átomo y sustancia simple y escuchar sus explicaciones sobre cómo los relacionan entre sí. Por otra, se quería saber un poco más sobre lo que ven en la TP y tener una nueva fuente de datos para triangular lo ya manifestado en otras oportunidades acerca de lo que cada uno consideraba más relevante en ella. Para lograr estos objetivos, se les presentaron siete formatos de tabla periódica. En cuanto al uso de las analogías, la investigación en la Universidad del Valle se llevó a cabo de manera paralela a la aplicación del cuestionario y la primera entrevista sobre tabla periódica.

ENTREVISTA Y CUESTIONARIO SOBRE ANALOGÍAS

La entrevista se analizó y tabuló pregunta a pregunta. El análisis de los sentimientos, opiniones y el tipo de analogía utilizada por los docentes condujo a la caracterización de cuatro tipos de docentes que se denominaron, respectivamente, entusiastas, pragmáticos, reflexivos y reticentes.

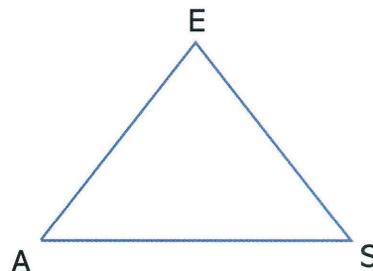
En cuanto a las analogías, para el tema de tabla periódica en particular se recogieron un total de 45. Sin embargo, la casi totalidad de ellas realmente hace alusión a las propiedades atómicas y no a su variación periódica. Cada analogía fue analizada de acuerdo con las condiciones pragmáticas, semánticas y estructurales. Además, se analizó si eran analogías completas o incompletas, en forma de símil, en las que no se extrapolan las propiedades del análogo al objetivo. Por último, se analizó si se referían al hecho real, al modelo o a una representación gráfica, como en el caso de la tabla periódica.

ANÁLISIS DE DATOS: DETERMINACIÓN DE LA VISIÓN DE ELEMENTO

Aunque dentro de los objetivos propuestos inicialmente no había ninguno referente a la metodología, durante el análisis de los datos se



diseñó un instrumento que se constituyó en un aporte metodológico que permitió superar las dificultades encontradas para la identificación de la visión. La determinación de la función que cada profesor asigna a la TP en sus cursos resultó relativamente fácil. No sucedió lo mismo al querer determinar la visión de elemento de cada cual. En esta parte de la segunda entrevista algunas respuestas eran vagas y contradictorias, de modo que, para acercarse lo mejor posible a lo que cada uno consideraba como elemento, se diseñó un instrumento que relacionara los tres conceptos, que se definen comúnmente unos a partir de los otros: elemento, átomo y sustancia simple.





Puesto que el concepto elemento (E) estructura este trabajo, aparece intencionalmente en el vértice superior del triángulo. De esta manera, se destaca su relevancia, y los otros dos (A: átomo, S: sustancia simple) quedan, visualmente, subordinados a él. Esta representación pictórica constituyó un mecanismo de simplificación de las definiciones y explicaciones que dan los profesores respecto a los tres conceptos y facilitó la aproximación a su visión de elemento.

Este instrumento, emergido de la necesidad de acercarse lo más detalladamente posible a la visión de elemento de cada profesor, permitió comparar las distintas explicaciones acerca de las relaciones entre estos tres conceptos. Además, las tablas de coherencia, en las que se siguió el discurso del profesor en los distintos momentos de la entrevista, mostraron el tipo de relación preferida y la frecuencia de uso.

De todas las visiones analizadas, la de la analogía de especie biológica es la

más cercana a la de las autoras; según ella, el elemento delimita un conjunto de átomos con un mismo número atómico, pero no se identifica ni con un átomo particular de ese conjunto ni con una sustancia simple constituida por ellos, de igual manera que una especie biológica caracteriza a un conjunto de individuos con una misma información genética, pero no se identifica ni con un solo individuo ni con una población.

En cuanto a la emergencia de los perfiles, en el caso particular de la TP, parece que pueden darse tantas lecturas como lectores haya. Además, hay muchas formas de leer más allá de lo evidente. No se trata sólo de interpretar correctamente los símbolos químicos encasillados en la tabla periódica, sino de las relaciones que se establecen entre esta inscripción y quienes la han hecho parte de su cotidianidad.

Así, para algunos la tabla toma carácter de mediador social: "La tenemos colgada en la pared, en algún sitio es-

Interesaba tener las definiciones explícitas de cada profesor sobre elemento, átomo y sustancia simple y escuchar sus explicaciones sobre cómo las relacionaban entre sí.

tratégico, para poder ir la mirando cuando hablamos con los colegas”, y para otros llega inclusive a convertirse en un objeto de afecto: “Entonces lo importante de la tabla no es memorizarla, o verla así como tan lejos de uno, es para usarla día a día, y cuanto más conozca usted la tabla periódica, cuanto más uso le dé, se va a encariñar más con ella”.

En el análisis de las respuestas de los profesores se evidenciaron dos tipos de lectura de la tabla: una desde la totalidad, como inscripción o representación gráfica de una ley, y otra desde sus partes, es decir, de su contenido, al interpretar qué representan cada uno de los símbolos que hay en ella. Por un lado, las impresiones de la tabla, considerada como un todo, se reflejan en las razones expuestas para incluir el estudio de la misma en los primeros cursos de química. Estas razones sugirieron *tres funciones*, a saber: didáctica, organizativa y macro.

Por otra parte, de la interpretación de lo que representan sus símbolos y de las definiciones dadas por los docentes para los conceptos elemento, átomo y sustancia simple emergieron las *cinco visiones* distintas del concepto elemento: como sustancia, como átomo, como símbolo, como especie e indefinido.

Ahora bien, lo expresado por los docentes pone de manifiesto que lo que cada

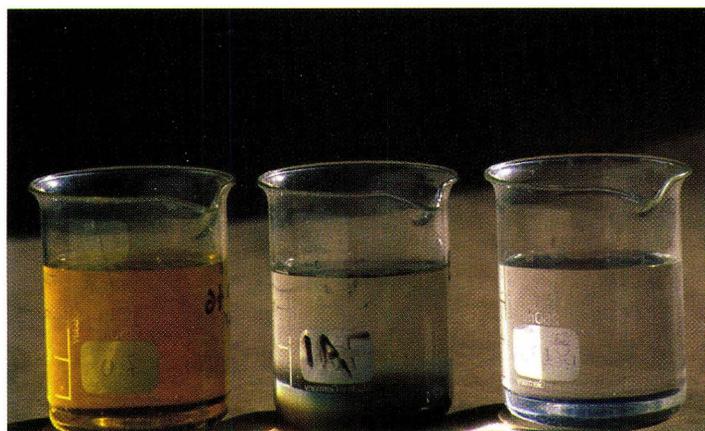
uno considera que se debe enseñar y los recursos que dice utilizar para ello están determinados más por la función que le confieren a la tabla periódica que por la visión que tienen del concepto elemento. Por esta razón, se tomó como primer indicador de la clasificación por perfiles la función, y como segundo, la visión. Además, cada perfil destaca uno de los tres aspectos que inicialmente se consideró que estaban presentes en la lectura de la TP: la analogía, el signo y el fenómeno.

CONCLUSIONES

Es importante recordar que este grupo de profesores, altamente calificados en su profesión de químicos y con una rigurosa formación científica, suele carecer de una formación profesional como docentes. Por esta razón, muchas de sus prácticas resultan de la repetición de modelos aprendidos de sus profesores, son producto de una rutina adquirida con los años o, por el contrario, surgen espontánea y esporádicamente como un recurso para resolver o explicar un tema en particular.

Aunque muchos acuden directamente a la literatura científica para mantener su conocimiento disciplinar actualizado, la planeación y diseño de los cursos a menudo están muy mediatizados por los libros de texto. Es común tener un texto guía para los cursos que se ofrecen de manera coordinada y simultánea. No obstante, muchos acostumbran elaborar sus propias notas de clase nutriéndose de diversas fuentes, por lo cual lo que se enseña en el aula casi siempre supera lo que se puede aprender de un solo libro de texto.

Por otro lado, como mostró esta investigación, existen intereses personales que guían el desarrollo del curso y enfatizan unos temas más que otros, con lo que se generan matices particulares en cada curso, que hacen que cursos paralelos resulten diferentes en la práctica. Además, unas elecciones condicionan otras. De esta forma,



DE ACUERDO CON LAS RESPUESTAS DE LOS PROFESORES, LA QUÍMICA DESCRIPTIVA
O QUÍMICA DE LAS SUSTANCIAS Y LOS LABORATORIOS DE QUÍMICA, HAN IDO
DESAPARECIENDO DEL CURRÍCULO DE QUÍMICA GENERAL.



el objeto de la enseñanza trae consigo un modo de enseñar. De ahí que los recursos materiales y didácticos sean diferentes y dependan del perfil del profesor y, en particular, de la función principal que asigne a la tabla periódica.

Teniendo en cuenta estos precedentes y retomando los objetivos iniciales, se puede concluir que:

1 Los profesores manifiestan tres razones principales por las cuales la enseñanza de la TP debe estar presente en los cursos de química general y, de acuerdo con esas razones, le confieren tres funciones: didáctica, organizativa y macro, asociadas a qué enseñar, cómo enseñar, cuándo enseñar y cómo evaluar.

2 Al igual que lo encontrado en la literatura científica y en los libros de texto, entre los profesores el concepto elemento es polisémico y está asociado estrechamente a otros como átomo, sustancia simple y símbolo. El aspecto que cada profesor destaca determina su visión. Se detectaron cinco visiones diferentes de elemento: como sustancia, como átomo, como símbolo, como especie e indefinida.

3 Los profesores hacen dos lecturas simultáneas de la TP: una global, que lleva a la asignación de una *función*, y una parcial (de cada una de sus casillas), que corresponde a la visión de elemento. La correlación de estas dos lecturas demarca una serie de características en la enseñanza de la TP, denominadas *perfiles*. No obstante, la función predomina sobre la visión al momento de hacer las elecciones relacionadas con el qué, el cómo, el cuándo enseñar y el cómo evaluar.

4 La mayoría de los profesores enseñan las propiedades atómicas presentes en los libros de textos más comunes; sin embargo, la extensión y profundidad en que son tratadas depende de las preferencias de cada uno. La carga nuclear efectiva es considerada por casi todos los entrevistados como el soporte para la explicación de la periodicidad de todas las demás, pero solo unos cuantos hacen cálculos

numéricos para justificar cuantitativamente sus explicaciones. Muy pocos hicieron alusión a la enseñanza de las propiedades de las sustancias.

5 Existen otros dos puntos cuestionados en esta investigación directamente relacionados con el modelo Md (átomo químico): la química descriptiva o química de las sustancias y los laboratorios de química. Estos dos componentes, de acuerdo con las respuestas obtenidas por los profesores, han ido desapareciendo del currículo de química general. Md ha sido desplazado gradualmente y Ma (átomo físico) se hace cada vez más importante.

6 Finalmente, los dos caminos de acceso para la enseñanza de la tabla más comunes entre este grupo de profesores son el histórico y el de la estructura atómica. Algunos comienzan el estudio desde la tabla misma, y los del perfil macro hacen referencia a las propiedades de las sustancias, más como una consecuencia de la periodicidad que como una forma de llegar a su explicación.

La siguiente gráfica muestra que el perfil Didáctico/Sustancia asocia el elemento con sustancia, destaca la ley y estimula el pensar. El Organizativo/Símbolo da al elemento carácter de átomo y destaca la importancia de la tabla como inscripción (lenguaje). El Macro/Indefinido relaciona lo macro(sustancia) y lo micro (átomo) a través del sistema periódico y prioriza el hacer.

