



Universitat Autònoma de Barcelona

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

TESIS DOCTORAL

Elemento, átomo y sustancia simple.

**Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla
Periódica en los cursos generales de Química**

Rita María Linares LópezLage

Bellaterra, Mayo de 2004

Directora:
Mercè Izquierdo Aymerich

Universitat Autònoma de Barcelona

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

TESIS DOCTORAL

Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla Periódica en los cursos generales de Química

Este estudio se ha realizado en el marco del Programa de Doctorado de Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas del Departamento de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales de la Universidad Autònoma de Barcelona, por Rita María Linares Lópezlage, bajo la dirección de la Dra. Mercè Izquierdo Aymerich. Forma parte del proyecto de investigación número de referencia BSO2002-04073C02-01, subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Bellaterra, Mayo de 2004

Mercè Izquierdo Aymerich

Rita María Linares Lópezlage

“El trabajo es el amor hecho obra”
Khalil Gibran

***A los que amo,
dedico este trabajo...***

Agradecimientos

Para poder entregar hoy esta memoria, he requerido del apoyo y colaboración de muchas personas a lo largo de estos últimos cuatro años y creo que este es el momento de dar las gracias a...

... las directivas de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia, donde trabajo desde 1975, por haberme dado la oportunidad de venir a Barcelona a adelantar mis estudios de doctorado.

... mis compañeros y compañeras del Departamento de Química y a los tres profesores de la Universidad Autónoma de Barcelona que participaron en esta investigación, por su generosidad y su tiempo, ya que sin su valiosa colaboración este trabajo no se hubiera podido realizar.

...mi querida maestra, la Doctora Mercè Izquierdo i Aymerich, quien por su dedicación y estímulo constantes, por lo mucho que aprendo junto a ella cada día, por la inmensa paciencia que tiene conmigo y por todo cuanto ha hecho por mí y por mi familia, ha sido mucho más que una directora de tesis para convertirse en un apoyo permanente en todos los vaivenes de mi vida.

... la doctora Núria Gorgorió por el tiempo que me ha dedicado para discutir mis diversas “inquietudes” acerca de mi trabajo y por sus voces de aliento para seguir adelante.

... las doctoras Mariona Espinet, Neus Sanmartí, Roser Pintó y Amparo Tusón por cuanto me enseñaron en los cursos del doctorado.

... mi amigo, el doctor Agustín Adúriz-Bravo, por comentar conmigo la analogía de la “especie” que tanto me ha servido en este trabajo.

... mi amiga y compañera Adriana Gómez, por su alegría, su tiempo y su paciencia, soportándome y ayudándome, día a día, en la etapa final de la escritura de esta memoria.

... mis amigas Digna Couso y Edelmira Badillo, por sus valiosos aportes a mi trabajo y por su tiempo.

... mis amigas María Luisa Orellana, Beatriz Cantero y Anna Marbà, por estar tan pendientes de mí.

... mi amiga Nuria Planas, por escuchar mis repetidas historias a la hora del café.

... a la doctora Conxita Márquéz, por sus sonrisas y sus valiosas sugerencias.

...mis compañeros y profesores del doctorado, por todo cuanto he aprendido junto a ellos.

...Benjamín Daza y a Begoña Isla por su permanente colaboración.

...mis amigas Deifan Marmolejo y Ludmila Ramírez, un pedacito de la Universidad del Valle en Barcelona, por su cariño, su interés y su apoyo permanentes.

... mis hijos, María Paula, María Antonia y Juan Manuel por ser mis mejores maestros.

... mi nieto Tomás amado, por todo lo que significa para mí ser su “iaia” y a David, su papá, por ser parte de este milagro.

... Alvarito, por seguir esperándome, con su amor, al otro lado del mar.

... a todos quienes, de una u otra forma, me han ayudado a culminar esta etapa de mi vida.

Y finalmente, doy gracias al Universo, por haberme puesto en este aquí y en este ahora, para seguir aprendiendo...

Antes de comenzar

*Ha sido un placer muy grande
Realizar esta tarea,
Ojalá opine lo mismo
La persona que la lea...*

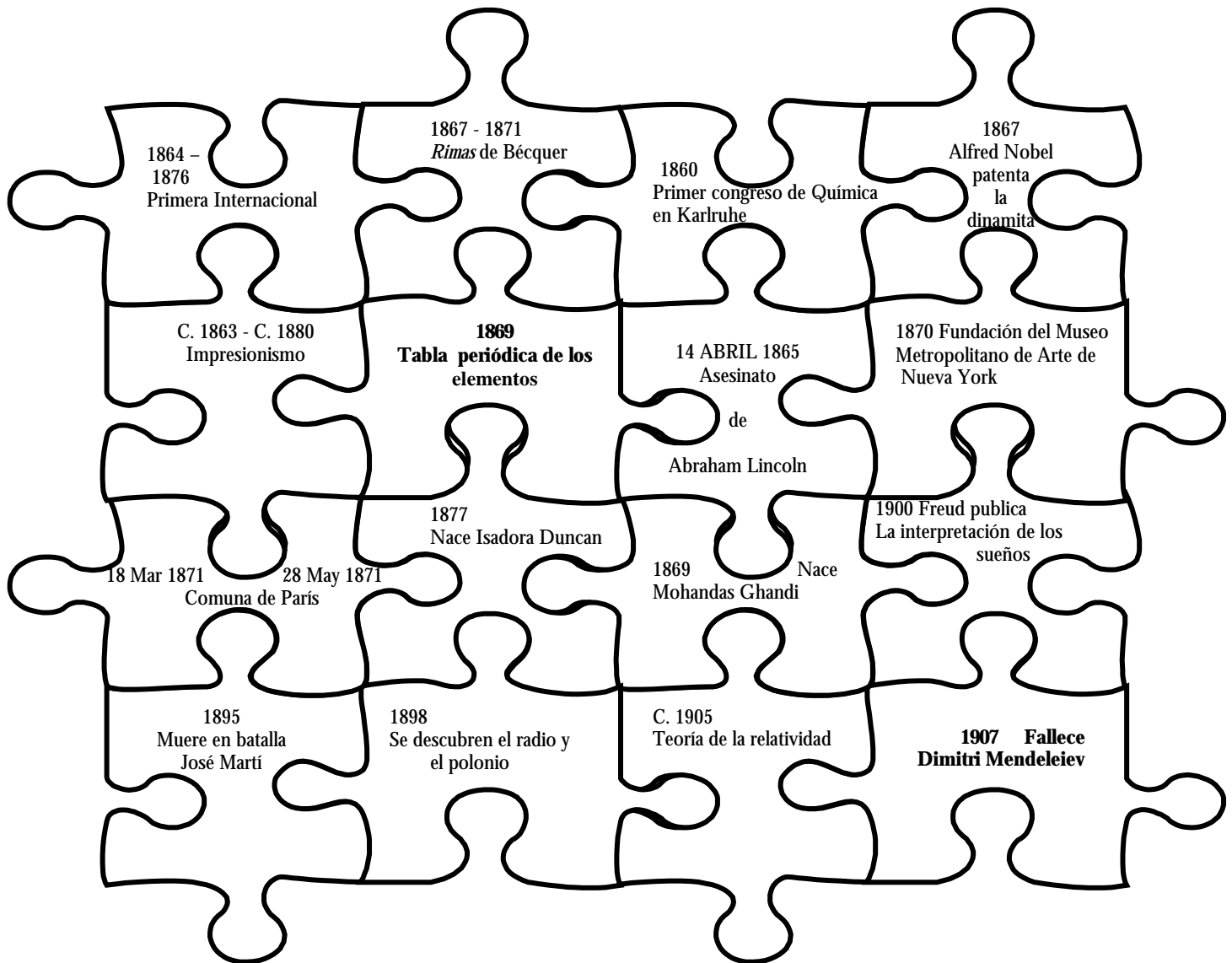
Con esas palabras comencé, hace unos años, el poema de la historia de la tabla periódica. Con esas mismas palabras he querido comenzar, hoy, este trabajo.

Me cuesta separar mi historia personal de todo cuánto hago. Quizás, ni siquiera intento sustraerme de la realidad que estudio sino que, por el contrario, disfruto sumergiéndome entre los hechos y la historia... entre la nostalgia y los recuerdos... tejiendo un entramado de pasados y presentes que me permitan construir un futuro.

Al comenzar el estudio sobre la tabla periódica y hacer un recuento histórico de lo que rodeó a Dimitri Mendeleiev en su publicación de un sistema periódico que ordenara los elementos químicos, me he encontrado con eventos y personajes que me transportaron, inevitablemente, a mi mundo interior. Como si mi vida fuera una línea del tiempo paralela a la de la historia de la humanidad, fueron apareciendo imágenes desde mi más tierna infancia hasta hoy.

La Internacional, escrita por Eugène Pottier en 1871 en la Comuna de París, que tantas veces entoné en la Cuba castrista, siendo apenas una niña, la serie de películas de Romy Schneider interpretando a Sissi emperatriz, los versos sencillos de José Martí y las canciones mambisas aprendidas de mis abuelas... Y luego, las rimas de Bécquer y el Nocturno de Silva, repetidos una y otra en mi adolescencia en Cali... Los descubrimientos científicos que he explicado a lo largo de los años... Personajes paradigmáticos como Ghandi o Freud, artistas como Tchaicovski o Isadora Duncan...

Como fichas de un rompecabezas, cada una de estas situaciones o de estos personajes, hasta hace poco, para mí, independientes y aislados, fueron conformando una imagen global del mundo a fines del siglo XIX, donde comienza la historia que originó esta memoria...



Y es que me pasa siempre, no puedo evitar enamorarme de lo que hago...

Índice

Capítulo 1

Planteamiento del problema.....	1
1. Un poco de historia sobre este trabajo	1
2. Del planteamiento del problema a las preguntas y objetivos de investigación.....	10
2.1. Planteamiento del problema.....	10
2.2. Preguntas y objetivos de la investigación.....	13
2.2.1. Respecto a lo que dicen los profesores.....	15
2.2.1. Respecto a los libros de texto.....	17
2.2.3. Respecto a la revisión del Journal of Chemical Education.....	18
3. Organización general de la tesis	19

Capítulo 2

Marco teórico	23
1. La tabla periódica de los elementos químicos.....	23
1.1. Desde los orígenes hasta la ley periódica de Dimitri Mendeleiev...	24
1.2. Desde la ley periódica de Dimitri Mendeleiev hasta hoy.....	42
2. Los libros de texto de química.....	54
2.1. Introducción	54
2.2. Estilos narrativos	56
2.3. De Mendeleiev a Pauling en los libros de química.....	61
3. Acerca de los profesores.....	66
3.1. Pensamiento y conocimiento del profesor.....	66
3.1.1. Los saberes disciplinarios y los saberes metadisciplinarios.....	71
3.1.2. La experiencia profesional.....	74
3.2. Qué enseñar en química general.....	75
3.3. Historia y filosofía de las ciencias en el aprendizaje y la enseñanza de la química	77
3.4. Coherencia en el discurso de los profesores.....	79
4. Modelos y modelización en la enseñanza de la química.....	81
4.1. Modelo cognitivo de ciencia.....	84
4.2. Modelos atómicos.....	86
4.3. Las analogías en la enseñanza de las ciencias.....	89
4.3.1. Las analogías y el razonamiento analógico.....	91

Capítulo 3

Metodología	101
1. Diseño de la investigación	101
2. Ámbito de la experiencia.....	102
3. Recogida de datos y metodología del análisis.....	107
3.1. El Journal of chemical education.....	108
3.2. Los libros de texto.....	109
3.3. Los profesores.....	114
3.3.1. Hacia la determinación de la FUNCIÓN de la tabla periódica en los cursos de química general.....	115
3.3.2. Hacia la determinación de la VISIÓN de elemento químico ...	121
3.3.3. Hacia la determinación del PERFIL del profesor	124
3.3.4. Uso de las analogías en la enseñanza de la tabla periódica.....	132

Capítulo 4

El saber sabio.....	143
1. Análisis de la revisión del Journal of chemical education.....	143
1.1. Formato.....	147
1.2. Átomo y configuración electrónica	149
1.2.1. Tabla periódica basada en estructura atómica	149
1.2.2. De la tabla periódica a la configuración electrónica.....	150
1.2.3. Otras propuestas de tabla periódica.....	151
1.2.4. Desarrollo de la teoría atómica	151
1.2.5. Visión de átomo	152
1.2.6. El núcleo y la tabla periódica.....	152
1.3. Números cuánticos.....	152
1.3.1. Historia de los números cuánticos.....	153
1.3.2. Números cuánticos y tabla periódica	153
1.4. Isótopos.....	154
1.5. Tabla periódica y propiedades de las sustancias.....	154
1.6. Ley o periodicidad	155
1.6.1. Periodicidad.....	155
1.6.2. Propiedades periódicas.....	155
1.7. Modelos.....	156
1.7.1. Modelos materiales.....	156
1.7.2. Modelos teóricos.....	156
1.7.3. Modelos didácticos.....	157
1.8. Libros.....	158
1.9. Programas y propuestas de química.....	158
1.9.1. Programas para un curso de química general.....	158
1.9.2. Programas para la carrera de química (currículo).....	159
1.9.3. Propuestas para la enseñanza.....	160
1.10. Historia o filosofía	160
1.10.1. Historia: átomo.....	161
1.10.2. Historia: tabla periódica.....	162
1.10.3. Historia: elemento.....	163

1.10.4. Filosofía.....	163
1.10.5. Otras historias.....	163
1.11. Analogías, cuantos y poemas.....	164
1.11.1. Cuentos y poemas.....	164
1.11.2. Analogías.....	164
1.11.2.1. Estructura atómica.....	164
1.11.2.2. Mol, tamaño y masa atómica promedio.....	165
Capítulo 5	
Una trasposición.....	169
1. Análisis de la revisión de los libros de texto de química general.....	169
1.1. Revisión del libro <i>Principios de Química</i> de Dimitri Mendeleiev.....	172
1.2. Revisión del libro <i>The Periodic Table of the Elements</i> de R.J. Puddephatt y P.K.Monaghan, Oxford Science Publications, 2ª edición, Oxford, (1990).....	196
1.3. Comentarios sobre los libros publicados entre 1884 y 1967.....	201
1.3.1. 1884: <i>Compendio de las lecciones de Química General</i> explicadas en la Universidad de <barcelona del Doctor Don Jose Ramón Luanco...	201
1.3.2. 1909: <i>Conferencias de Química Moderna</i> del Padre Eduardo Vitoria, S.J.....	203
1.3.3. 1931: <i>Systematic Inorganic Chemistry</i> de R.M. Caven y G.D. Lander.....	206
1.3.4. <i>Química General</i> de Linus Pauling.....	207
2. Revisión de 27 libros de texto publicados a partir de 1967.....	211
2.1. Selección de la muestra.....	211
2.1.1. Clasificación cronológica.....	213
2.1.2. Clasificación por idiomas.....	214
2.1.3. Clasificación por editoriales.....	214
2.2. Aspectos de interés.....	215
2.2.1. Estructura atómica y tabla periódica.....	217
2.2.2. El concepto de sustancia.....	219
2.2.3. Recuento histórico.....	219
2.2.4. Definición de elemento.....	221
2.2.5. Punto de partida de la tabla periódica.....	221
2.2.6. Denominación de los bloques y grupos de la tabla periódica...	222
2.2.7. Propiedades atómicas.....	225
3. Discusión de los resultados.....	235
3.1. Relación entre estructura atómica y tabla periódica.....	236
3.2. Caminos de acceso: Historia – Configuración enelectrónica – Propiedades de las sustancias.....	241
3.3. Denominación de los grupos.....	244
3.4. Relación entre el camino de acceso y las propiedades estudiadas..	245
3.5. Relación de las propiedades con la Z^*	246
Capítulo 6	
El saber enseñado.....	253
1. Introducción.....	253

Con formato

Sección I: Un primer acercamiento.	254
1. Cuestionario sobre tabla periódica	254
Sección II: La función de la tabla periódica.....	273
1. Análisis de la primera entrevista sobre la tabla periódica.....	273
1.1. Primera pregunta: ¿Cree usted que se podría hacer un curso de química general sin incluir la tabla periódica?.....	273
1.2. Segunda pregunta: ¿Con qué objetivo se debe enseñar la tabla periódica en un curso de química general?.....	276
1.3. Tercera pregunta: ¿Qué cree que se debe enseñar de tabla periódica en un curso de química general?.....	279
1.4. Quinta pregunta ¿En qué orden enseña usted estos temas?.....	279
1.5. Cuarta pregunta ¿Están esos puntos incluidos en el programa del curso?... ..	287
1.6. Sexta pregunta: ¿Enseña algo de química descriptiva en su curso?, en caso afirmativo ¿Algún grupo en especial?.....	290
1.7. Séptima pregunta: ¿Qué recursos materiales y metodológicos utiliza? ¿Algo de analogías?	293
1.8. Octava pregunta ¿Hay alguna práctica de laboratorio sobre tabla periódica?	294
1.9. Ha intentado diversas maneras de acceder a la presentación de la tabla periódica?	298
1.10. Decima pregunta: ¿Cree usted que se pueden enseñar otros temas distintos a la química a través de la tabla periódica?.....	306
1.11. Undécima pregunta ¿Qué considera más sobresaliente del trabajo de Dimitri Mendeleiev?.....	308
2. La determinación de la FUNCIÓN.....	309
Sección III. La visión de elemento.....	322
1. Primer nivel de análisis: Construcción y prueba del elemento.....	323
1.1. Creación del instrumento.....	329
1.2. Prueba del instrumento.....	339
2. Segundo nivel de análisis: Acercamiento a la visión de elemento.....	339
2.2. de las tablas a la líneas de coherencia.....	339
2.3. Ejemplos paradigmáticos de las cinco visiones.....	345
2.3.1. Elemento como sustancia.....	345
2.3.2. Elemento como átomo.....	350
2.3.3. Elemento como especie.....	357
2.3.4. Elemento como símbolo.....	361
2.3.5. elemento indefinido.....	368
3. Tercer nivel de análisis. Clasificación de los profesores de acuerdo con las cinco visiones de elemento.....	351
4. Discusión de los resultados.....	402
4.1. ¿Qué es un elemento?	402
4.2. ¿Es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?.....	404
4.3. ¿Qué hay en la tabla periódica?¿Símbolos, átomos o sustancias simples?	412

Sección IV: Las analogías y la tabla periódica.....	419
1. Las analogías como herramientas didácticas en el proceso de transposición.....	419
1.1. Analogías recogidas en el cuestionario.....	419
1.2. Analogías recogidas en la segunda entrevista.....	446
1.2.1. Analogías que hay en la tabla periódica.....	446
1.2.2. Analogías para explicar tabla periódica o propiedades periódicas.....	448
Capítulo 7	
Los perfiles de los profesores.....	453
1. La emergencia de los perfiles.....	453
2. Caracterización de los perfiles.....	458
2.1. PERFIL: Función: DIDÁCTICA Visión: SUSTANCIA.....	459
2.2. PERFIL: Función: ORGANIZATIVA Visión: SÍMBOLO.....	466
2.3. PERFIL: Función: MACRO Visión: INDEFINIDA.....	471
Capítulo 8	
Discusión global de los resultados.....	484
1. Introducción.....	484
2. Acerca de los profesores.....	484
2.1. Acerca de los perfiles.....	485
2.2. Acerca de las analogías.....	486
3. Acerca de los profesores y los libros de texto.....	490
4. Acerca de los libros de texto y la revisión del Journal of Chemical Education.....	493
5. Acerca de Dimiti Mendeleiev.....	494
Capítulo 9	
Conclusiones, innovaciones y propuestas.....	513
1. Introducción.....	513
2. Acerca de la revisión del JCE.....	513
3. Acerca de los libros de texto.....	518
4. Con respecto a los profesores.....	524
5. Aportes metodológicos.....	527
6. Algunas reflexiones finales.....	531
7. Propuestas e innovación.....	534
7.1. Propuesta de curso.....	534
7.2. Perspectivas a futuro.....	534
7.2.1. Respecto al “saber sabio”	534
7.2.2. Respecto a los libros de texto.....	535
7.2.3. Respecto a los profesores.....	535
7.3. Innovaciones.....	535
7.3.1. Poema de la historia de la tabla periódica.....	536
7.3.2. Sabelotodo de la tabla periódica.....	541

Bibliografía	543
---------------------	-----

Anexos	
---------------	--

Capítulo 1

Planteamiento del problema

1. Un poco de historia sobre este trabajo

Quizás porque, como dice uno de los profesores participantes en esta investigación, para los químicos la tabla periódica “*es un instrumento de trabajo, como para el ingeniero es la calculadora o como para el médico de pronto es el bisturí*”, siempre he considerado que la comprensión y el manejo de la información sistematizada en ella pueden facilitar la enseñanza y el aprendizaje de muchos de los temas básicos de la química. Esto hace que, a mi modo de ver, la tabla periódica se constituya, de alguna manera, en el eje estructurante de los cursos de química general (Woodgate, 1995).

Como muchos otros profesores de química, y particularmente por haber escogido como área principal la Química Inorgánica en el desarrollo de mi Maestría en Ciencias, siempre había concebido la tabla periódica desde un punto de vista mecánico cuántico, en la que podía prever ciertos comportamientos de las propiedades periódicas a lo largo y ancho de sus grupos y periodos basada, principalmente, en el valor calculado de la carga nuclear efectiva.

En 1993 participé con algunos de mis compañeros de trabajo de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia, en la elaboración de materiales didácticos relacionados con este tema (Granada, Hleap y Linares, 1993). Y, en alguna otra oportunidad, bajo la dirección del doctor Gustavo Sánchez, quien fue el tutor de mi tesis de Maestría en la Universidad del Valle, estuve haciendo cálculos teóricos de propiedades atómicas tales como energías de ionización y afinidades electrónicas a partir de cargas nucleares efectivas calculadas por el

método de Slater (Waldron et al., 2001) y/o el método de Clementi y Raimondi, para posteriormente obtener electronegatividades en la escala de Mulliken, convertirlas a escala de Pauling y finalmente compararlas con las reportadas.

En el Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas, he tenido la oportunidad con la doctora Mercè Izquierdo, mi directora, de observar y repensar la tabla periódica desde otras perspectivas, tales como la historia, la semiótica textual o el uso de las analogías y por supuesto, la didáctica. Esto despertó nuevamente mi interés por estudiar aspectos en los que, hasta ahora, nunca antes había profundizado.

Dentro de esta búsqueda personal de nuevas formas de abordar la enseñanza de la química y su historia y, en particular, la tabla periódica, presenté varios trabajos en los diferentes cursos del doctorado. Uno de ellos es el puzzle sobre la contextualización histórica de finales del siglo XIX, época en la que Mendeleiev promulgó su ley periódica, con el que he empezado esta memoria. Igualmente, la carta sobre “Mi amante ruso”, con la que concluyo el apartado sobre Mendeleiev y su obra en el capítulo de discusión de los resultados, y algunos apartes de una de las cartas a mi nieto Tomás amado, sobre la vida y obra de Paracelso son otros ejemplos de cómo se entretienen en mi vida mi mente y mi corazón. Sin embargo, quiero aclarar que estas formas alternativas de presentar historias, biografías o contenidos científicos no se contravienen en ningún caso con el rigor y la seriedad con que ha sido hecho este trabajo. Antes, por el contrario, son una manifestación de lo importante que ha sido para mí tener la oportunidad de seguir aprendiendo después de más de veinticinco años de ejercicio docente y de haber tenido la alegría de ser abuela.

Otros trabajos, como el Poema con la historia de la tabla periódica y las instrucciones para el juego de mesa Sabelotodo de la Tabla Periódica, se encuentran en el capítulo de innovaciones y propuestas.

Este trabajo comenzó entonces desde el mes de febrero del 2001, con mis primeras conversaciones con la doctora Izquierdo, cuando acordamos que el tema central de esta investigación sería la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química.

Decidido el tema de la investigación, a partir de ese momento comencé un proceso de lecturas sobre la tabla periódica facilitadas por mi directora (Bensaude-Vincent, 1986, 1994a, 1995; Solans, 1997). Simultáneamente, empecé una búsqueda bibliográfica a través de las bases de datos, en particular ERIC y CESIC, que culminó en la revisión de más de cien artículos publicados en el *Journal of Chemical Education* a partir de 1924, año de su inauguración, de lo más destacado referente a la tabla periódica y al concepto elemento, y que constituyen una pieza fundamental en esta investigación.

Por otra parte, alrededor de la Tabla Periódica giran temas como estructura atómica, propiedades periódicas, enlace químico, química descriptiva y química aplicada a la vida cotidiana (Bouma, 1989), por lo cuál, de alguna manera, el estudio de esta unidad se constituye en el eje central o espina vertebral de la mayoría de los cursos generales de Química y de Química Inorgánica. Ahora bien, dependiendo del enfoque planteado para el curso por la Unidad Académica que lo ofrezca, o de los intereses o preferencias particulares del profesor o profesora a cargo, el estudio de la Tabla Periódica y todo lo que de ella se derive puede ser abordado de muy distintas maneras (Campbell, 1989; Laing, 1989; Kotz, 1989; Blanck, 1989).

Nuestra primera revisión bibliográfica mostró un panorama de caminos alternos utilizados por los profesores para comenzar la enseñanza de la tabla periódica en cursos generales o básicos de química.

Así, por ejemplo, encontramos que quienes se inclinan por una orientación histórica, inician el estudio de la Tabla mediante el análisis de las propiedades de las sustancias simples y van llevando a los estudiantes al descubrimiento de las similitudes entre aquellas que constituyen lo que hoy llamamos un grupo o familia (Albaladejo et al. 1982; Brincones y García, 1987; Bensaude-Vincent, 1994) para llegar finalmente a conclusiones semejantes a las de Dimitri Mendeleiev, y por ende, a la construcción de un sistema periódico que organice los elementos en la forma actualmente conocida.

Otros, en cambio, partiendo del modelo mecánico cuántico ya conocido, optan por construir la tabla periódica a partir del principio de aufbau y de las reglas empíricas de ($n +$

), o reglas de Klechkowsky (Garric, 1979). Basados entonces en la distribución electrónica de acuerdo con el número atómico del elemento, parecen ignorar por completo las características de las sustancias simples, y la periodicidad aparece como una consecuencia del llenado de niveles energéticos, es decir, a partir de las propiedades microscópicas del átomo (Wiswesser, 1945; Von Marttens y Goldschmidt, 1989).

Hay quienes buscan métodos alternativos para que los estudiantes vayan construyendo su propio modelo de periodicidad que les permita más tarde comprender los datos contenidos en la tabla periódica (Goh y Chia, 1989).

Finalmente, existen algunas pocas propuestas para tomar la tabla periódica como ejemplo de un modelo científico (Ben-Zvi y Genut, 1998) o para la utilización de herramientas didácticas variadas, entre ellas las analogías (Cherif et al., 1997).

De esta reflexión sobre los muchos y variados aspectos que puede ofrecer el estudio y la enseñanza de la tabla periódica surgió la pregunta central de esta investigación: *“¿Qué quieren enseñar los profesores y profesoras cuando explican tabla periódica en los cursos generales de química en la Universidad?”*

No obstante, antes de ir a preguntarle a otros sus opiniones, a quien primero dirigí esta pregunta fue a mí misma. ¿Para qué enseñar tabla periódica en un curso de química general? ¿Qué objetivos pensaban yo que debía cumplir la tabla periódica en la formación inicial de un estudiante universitario? Mi respuesta, a finales de 2001, después de haber cursado varias asignaturas del Doctorado y de haber presentado algunos de los trabajos ya mencionados sobre la tabla periódica, pero antes de comenzar esta investigación con mis compañeros, fue la siguiente:

“Si en este momento me pidiesen que diera una conferencia sobre qué es la química o de que están hechas las cosas, y no tuviera nada preparado, tomaría una tabla periódica, como si fuera una enciclopedia de bolsillo, y con seguridad que tendría mucho de que hablar.

Considero que la Tabla Periódica reúne una gran cantidad de información organizada de tal manera que permite, a quienes la comprenden, explicar y prever el comportamiento de los elementos y, de alguna forma, de los compuestos que

pueden formar. Como dice Mahan en su libro *Química Universitaria* (1977) “la Tabla Periódica nos ayudará a correlacionar, recordar y pronosticar la química detallada de los elementos”.

Retomando entonces la pregunta ¿para qué enseñar la Tabla periódica en los cursos generales de química en la universidad?

Para mí la respuesta es:

1. Para que los estudiantes entiendan de una manera fácil de recordar el comportamiento de los distintos elementos químicos, como por ejemplo su carácter metálico o no metálico, su facilidad para producir cationes o aniones, su comportamiento como oxidantes o reductores, como ácidos o como bases, etc.
2. Para que puedan comprender la formación de los distintos tipos de enlace: iónico, covalente, covalente polar o las fuerzas de Van der Waals
3. Para que puedan explicar por qué un compuesto originalmente iónico adquiere características covalentes por efecto de la polarizabilidad o uno originalmente covalente adquiere características iónicas (polares) por efecto de la electronegatividad.
4. Para que puedan comparar y prever las características de compuestos con la misma estequiometría del tipo MX , pero en los que M pertenece a distintos grupos de la Tabla Periódica
- 5.- Para que puedan prever el tipo de compuestos que pueden formar dos elementos determinados

Hasta antes de comenzar mis estudios de Doctorado en didáctica de las Ciencias Experimentales en la UAB, hubiera considerado suficientes las razones antes anotadas para incluir el tema de Tabla periódica en los cursos generales de química en la Universidad. Ahora consideraría otras razones igualmente importantes, entre otras:

- 6.- Para resaltar la estrecha relación entre la ontogenia y la filogenia en el desarrollo de ciertos conceptos como sustancia, elemento y átomo (Dominguez y Furió, congreso de didáctica, 2001). A este respecto Guillespie et al. (1990) comentan que: “La gran diversidad de comportamientos que se observan entre los elementos y sus compuestos debió constituir un auténtico dolor de cabeza para los primeros químicos, como debe parecérselo en ocasiones a los estudiantes que comienzan el curso de química”
- 7.- Para incentivar el estudio de la historia de la Química con todas sus bellísimas anécdotas alrededor del descubrimiento de todos y cada uno de los elementos conocidos hoy en día
- 8.- Para dar un enfoque holista de la química, ya que así como la Tabla periódica resume las propiedades más importantes de los elementos, tanto a nivel atómico como a nivel macroscópico, también encierra, como he mencionado alguna vez, la historia de la humanidad.”

Teniendo tantas razones para sustentar la importancia de la enseñanza de la tabla periódica, la segunda pregunta que me formulé fue ¿Qué enseñar en la unidad de Tabla periódica en los cursos generales de química en la Universidad? A continuación transcribo lo que escribí aquella vez:

“Partiendo de la base de que hoy en día ya sabemos que el ordenamiento periódico de los elementos en la tabla se debe a su configuración electrónica y que los responsables de prácticamente todo el comportamiento de los átomos son los

electrones periféricos, también llamados electrones de valencia, hecho que el propio Mendeleiev predecía en sus Principios (1869) cuando afirmaba que 'La variación periódica de los cuerpos simples y compuestos está subordinada a una ley en la naturaleza, pero su causa no puede aclararse actualmente. Es probable que ella resida en los principios fundamentales de la mecánica interna de los átomos y las moléculas', me parece conveniente en primer lugar, resaltar la importancia de tal configuración, ya que esta es la que determina, como bien preveía Mendeleiev, la ubicación del elemento en una determinada casilla de la tabla periódica.

Otra propiedad igualmente importante y determinante de muchas de las propiedades atómicas que varían en forma periódica en la tabla es la fuerza con que el núcleo atrae a los electrones. Esta atracción depende del número de protones en el núcleo, es decir, de z , y del número de electrones que se encuentran entre el núcleo y un electrón en particular, ejerciendo lo que se conoce como efecto de pantalla o apantallamiento. Esto significa, por ejemplo, que en el sodio, que tiene 11 protones en el núcleo y 11 electrones distribuidos en tres niveles de energía: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$, el electrón en el orbital $3s$ no se siente realmente atraído por los 11 protones del núcleo, ya que los 10 que están por delante de él le "tapan" gran parte de esa carga, haciendo que la atracción se reduzca considerablemente.

Esta propiedad se denomina carga nuclear efectiva, se representa por Z^* , y algunos autores como Guillespie et al (1990), la llaman "la carga del core".

Existen varios métodos para calcular z^* . El más común es el de Slater, aunque hay otros más sofisticados como el de Clementi y Raimondi (Huheey, 1981) y otros mucho más sencillos y simplificados, como el que presentan Guillespie et al (1990), pero en general podemos decir que:

$$Z^* = Z - (\text{factor de apantallamiento})$$

Personalmente pienso que si queda claro como varía Z^* tanto en los períodos como en los grupos de la Tabla Periódica será fácil comprender si un átomo será grande o pequeño, si necesitará mucha o poca energía para ionizarse, si ganará electrones con facilidad o no y si se deformará fácilmente, o por el contrario, deformará con fuerza otras nubes electrónicas.

Teniendo en cuenta lo anterior, considero que lo que se debe enseñar en la unidad de tabla periódica es:

- 1.- El significado de la Tabla Periódica como sistema ordenador de los elementos químicos
- 2.- La relación entre las configuraciones electrónicas y la forma de la tabla periódica, en su presentación larga, con los bloques s, p, d y f
- 3.- La relación entre la configuración de cada elemento y su ubicación en la tabla, teniendo en cuenta que el período está determinado por el máximo nivel de energía ocupado y el grupo, por el número de electrones de valencia.
- 4.- El significado de la carga nuclear efectiva y una forma de calcularla (ya se ha mencionado que existen distintos métodos). La manera como varía la carga nuclear efectiva tanto en los períodos como en los grupos
- 5.- Las propiedades atómicas más relevantes y determinantes en la formación de sus compuestos: tamaño, energía de ionización, afinidad electrónica, polarizabilidad, electronegatividad y números o estados de oxidación, anteriormente llamados, valencia.
- 6.- La variación directa o inversamente proporcional de cada una de esas propiedades respecto a Z^* .
- 7.- El tipo de enlaces más probable que formará cada grupo de la tabla periódica.
- 8.- El tipo de compuestos más comunes del tipo A_nB_m que pueden formar dos elementos A y B.

9.- *El carácter metálico o no metálico, ácido o básico, oxidante o reductor de los distintos grupos de la tabla periódica*

10.- *Algunas propiedades de las sustancias como puntos de fusión, puntos de ebullición o estado natural*

Teniendo en cuenta una visión más holista debería incluirse en esta unidad un recuento histórico de la tabla periódica, con los personajes más sobresalientes como Döbereiner, Chancourtois, Newlands, Meyer y Mendeleiev.

Igualmente considero de interés en este momento hacer una relación entre las épocas de los descubrimientos de los elementos y el momento histórico de la humanidad, y finalmente me parece interesante que los estudiantes conozcan el origen del nombre de cada elemento, lo cual, en muchas ocasiones abre las puertas hacia otros campos del saber, como la mitología, la astronomía o la geografía, entre otros.”

Pensando en este último punto presenté el juego Sabelotodo de la Tabla Periódica, complementado con otro trabajo denominado ¿Cuántas cosas podemos aprender de la tabla periódica?! en el que se accede al estudio de, por ejemplo, la mitología, la astronomía y las biografías de algunos científicos famosos a través de la etimología de los nombres de los elementos.

Sin embargo, ya no se trataba simplemente ni de una reflexión metacognitiva de lo que había sido mi relación con la tabla periódica durante tantos años, ni de una mirada impersonal a experiencias ajenas publicadas en revistas científicas, sino de un interés profundo por conocer qué pensaban mis compañeros y compañeras del Departamento de Química de la Universidad del Valle en Cali, Colombia, sobre la enseñanza de esta “*fente de información más sencilla y más distribuida en la química y en los campos relacionados...*” como la llaman Fernelius y Powell, (1982). Algo similar a lo que me ocurrió cuando desarrollé la investigación sobre el uso de las analogías en los cursos de química ofrecidos por ese mismo Departamento, que dio lugar a mi tesina de Maestría en la Universidad Autónoma de Barcelona (Linares, 2002).

En los cincuenta años de historia del departamento de Química de la Universidad de Valle, en el que trabajo desde 1975, la investigación sobre el uso de las analogías (Linares, 2002) fue la primera de carácter didáctico que se ha realizado con este grupo humano, casi todos doctores en Química y adscritos a la Facultad de Ciencias. La generosidad y apertura de este colectivo para compartir su pensamiento, sus sentimientos y sus prácticas docentes me motivó a adelantar, con ellos, esta segunda investigación. Además, me ha interesado en particular el caso del Departamento de Química de la Universidad del Valle porque

considero importante que todas estas reflexiones sobre nuestro quehacer docente se reviertan en la institución que ha hecho posible mi participación en este programa doctoral.

Paralelamente, he contado con la valiosa colaboración de tres docentes del Departamento de Química de la Universidad Autónoma de Barcelona, que aceptaron participar en esta investigación para poder comparar las ideas sobre la enseñanza de la tabla periódica entre pares con el mismo nivel de educación, pero formados y ejerciendo en distintos lugares del mundo.

De otro lado, al comenzar a leer y a estudiar sobre la larga historia que condujo a la que hoy conocemos como la tabla periódica de Mendeleiev, apareció un concepto íntimamente relacionado con el desarrollo de la química desde sus principios, que ha sido objeto de más de una investigación, y de muchas controversias a lo largo del tiempo, el concepto elemento.

Este concepto tan antiguo como la humanidad, discutido por los sabios y filósofos desde las épocas más remotas sigue teniendo, en los albores del siglo XXI, más de una definición, tanto por los docentes universitarios, como por los libros de texto, como dentro de la comunidad científica internacional (Menschutkin, 1937; Roundy, 1989; Bensaude-Vincent, 1994b; Thibault, 1994; Bullejos et al. 1995).

En el cuestionario que se les presentó en primera instancia a los profesores y profesoras de la Universidad del Valle y de la Universidad Autónoma de Barcelona, al solicitarles que escogieran la definición de elemento que les parecía más adecuada, volvimos a encontrar esta ambigüedad detectada en la literatura. Por su parte, la primera entrevista sobre la enseñanza de la tabla periódica mostró que los conceptos elemento, átomo y sustancia simple eran utilizados indistintamente para referirse a las entidades contenidas en dicha tabla.

Además, esta primera entrevista dejó entrever que cada uno hacía una lectura propia de la información allí encerrada conforme a su visión de lo que era un elemento y, finalmente, también puso de manifiesto que algunos se inclinaban por el uso de las analogías para

extraerla y explicarla. Muestra de ello son las cuarenta y cinco analogías sobre tabla periódica y propiedades periódicas que los profesores nos proporcionaron previamente (Linares, 2002) y que se retomarán como complemento en la presente investigación.

Esto nos llevó a diseñar una segunda entrevista que buscaba, por un lado, concretar las distintas concepciones y definiciones de elemento y por ende, de átomo y de sustancia simple. Y, por otro lado, buscaba confirmar que cada quien ve lo que quiere ver (Jiménez, 1998, p.21) y, por lo tanto, una misma inscripción, en este caso la tabla periódica, puede tener tantas lecturas como lectores haya.

Siendo el tema central de este trabajo “la tabla periódica de los elementos químicos”, consideramos de fundamental importancia conocer, en primer lugar, qué es en definitiva para cada uno de los docentes participantes en esta investigación, un elemento. Por esta razón, el cuestionario y las dos entrevistas utilizados para recoger los datos no se discuten en orden cronológico, si no de una manera cíclica. Es decir, el primer análisis del cuestionario y de la primera entrevista dieron lugar a la segunda entrevista. Y entonces, esta segunda entrevista debió ser analizada antes de proseguir con el análisis en profundidad que daba sentido a todos los datos recogidos.

Como segunda fuente de información se analizaron 27 libros de texto de química general, de los más utilizados en las últimas décadas del siglo XX en la Universidad del Valle, teniendo en cuenta la importancia de los libros de texto en el diseño, planeación y preparación de los cursos (Justi y Gilbert, 2002). Y además se analizó, como fuente primaria de todo el proceso que acompañó la gestación de la ley periódica y de la tabla periódica, el libro “Principios de Química” de Dimitri Mendeleiev publicado a finales del siglo XIX.

Y puesto que tanto los profesores como los libros de texto, a su vez, 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*. Cabe aquí hacer la aclaración que una revisión exhaustiva de este tema en esta revista constituiría en sí misma toda una

investigación, sin embargo, los más de cien artículos estudiados y analizados han contribuido a fortalecer las bases para discusión de este trabajo.

Finalmente, antes de entrar de lleno en la esencia de este trabajo deseo comentar que la redacción del mismo está hecha a dos voces. En muchas de sus partes el texto está escrito en la primera persona del singular, esto es cuando narro, describo o comento lo que yo he hecho o mis opiniones particulares. En otras, utilizo la primera persona del plural. En tales casos, me refiero a todo aquello que es fruto de las discusiones y reflexiones junto con mi directora, la doctora Mercè Izquierdo. No obstante, no sobra aclarar que cualquier error, inconsistencia, incongruencia o mala interpretación es única y exclusivamente mi responsabilidad.

2. Del planteamiento del problema a las preguntas y objetivos de investigación

Con base en los antecedentes mencionados, procederemos a establecer el planteamiento del problema y las preguntas y objetivos de esta investigación.

2.1. Planteamiento del problema

La tabla periódica es, sin lugar a dudas, la inscripción más utilizada tanto en la química como en los campos relacionados con ella (Fernelius y Powell, 1982). Producto de una “*urgencia pedagógica*”, como dice Bensaude-Vincent (1995), ha estado por años en las paredes de las aulas y de los laboratorios como una de las herramientas didácticas más utilizadas por los profesores y profesoras de química (Graves, 1929).

A pesar de las múltiples propuestas que han surgido buscando nuevas formas de ordenar los elementos químicos (Mazurs, 1974, revisión del *JCE* en este trabajo), la tabla periódica que hoy conocemos es, con algunas breves modificaciones, la tabla original que Mendeleiev presentó al mundo, por primera vez, en 1869.

Sin embargo, aunque su forma, en esencia, se conserva, su interpretación ha cambiado con el tiempo. *“Lo que comenzó siendo una Ley general que organiza a la Química en su conjunto, ha terminado convertido en algo que está en el libro y que se refiere a unos ‘números’ que se han de aprender”*(Izquierdo, 2002), y que muchas veces no tienen ningún significado para quien se acerca a ella por primera vez. (Campell, 1989)

Por otra parte, una de las conclusiones presentadas por Justi y Gilbert (2002) puso en evidencia que el uso que cada profesor hace de los modelos y de los procesos de modelización en sus clases depende de su visión particular de la naturaleza de los mismos, no de un consenso colectivo. Esto nos condujo a una nueva reflexión sobre el grupo de estudio de nuestro trabajo. Como ya se ha mencionado, los profesores consultados en nuestra investigación son todos egresados de facultades de Ciencias, casi todos con doctorados en Ciencias, pero sin una formación y reflexión colectiva permanente sobre aspectos relevantes de nuestro diario quehacer. Como dice Giere (1992, p. 86): *“han pasado por el proceso de aculturación que es parte de la formación del científico”*. Así que, tanto nuestros conocimientos de historia y filosofía de las ciencias, como nuestra capacitación para llevar el conocimiento científico a las aulas, dependen de los intereses personales de cada quien, no de una política institucional (Enduran y Scerri, 2002; Wandersee y Baudoin Griffard, 2002).

De otro lado, es común en nuestra universidad que un mismo curso, especialmente en el primer año, se ofrezca en forma paralela a varios grupos de estudiantes. Estos cursos suelen estar a cargo de distintos profesores a los que el Departamento les entrega un escueto “programa oficial”, en el que se señalan los temas que se deben tratar. Algunas veces, los profesores se reúnen para coordinar aspectos generales del curso, pero pocas veces entran en detalle sobre el “qué” y el “cómo” se va a enseñar. Uno de los temas en los cursos de química general es la tabla periódica.

Por tanto, uno de nuestros supuestos de partida es que lo que cada profesor enseñe de tabla periódica y los modelos que utilice para ello, estará más influenciado por su propia percepción que como resultado de una interacción social con sus pares (Couso, 2002, Marcelo, 2002).

A todo esto se suma que el saber escolar es producto de la transposición didáctica del saber sabio (Chevallard, 1991), con lo cual se multiplican las interpretaciones de fenómenos y conceptos. La fuente principal para la preparación de nuestras clases la constituyen los libros de texto universitarios y, en algunos casos, la literatura científica o las páginas web en internet. En todos ellos, para el concepto elemento, concepto fundamental en la enseñanza de la tabla periódica, se siguen encontrando todo tipo de definiciones y posiciones, asignándole funciones tan variadas como ser el origen primario, conservar las cualidades, ser el límite de la descomposición o ser la unidad de combinación (Bensaude-Vincent, 1994a).

Así, la inquietud planteada por Izquierdo en cuanto a la transformación en el significado de las inscripciones (Izquierdo, 2002), en este caso particular, la tabla periódica, la polisemia y ambigüedad del concepto elemento en las diferentes fuentes de información y mi interés por conocer más profundamente las ideas de los profesores acerca de la enseñanza de la tabla periódica en los cursos de química general, se conjugan para dar lugar al planteamiento del problema: Es posible que de la “lectura” que se haga de la tabla periódica y de la interpretación del concepto elemento, dependa lo que cada profesor considera que se debe enseñar bajo el título de “Tabla Periódica”. De ser así, 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 denominadas de la misma manera dejarían de ser, en la práctica, equivalentes (Zohar, 2004).

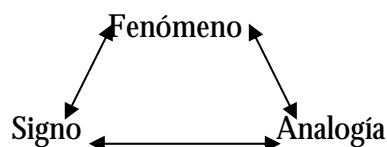
De la búsqueda de respuestas a estas inquietudes emerge este trabajo que hemos titulado: ***“Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química.”***

2.2. Preguntas y objetivos de la investigación

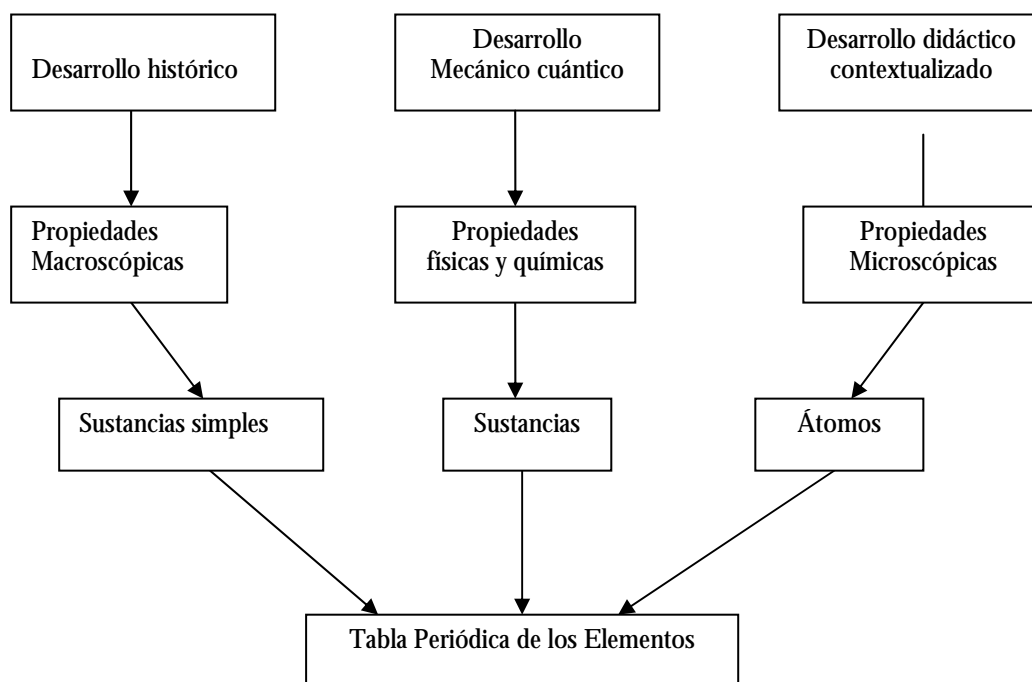
Supuestos de partida:

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 tanto la tabla periódica, como un conjunto, y cada una de sus casillas en particular, es la representación analógica de un conjunto de fenómenos y si, además, los profesores y profesoras de los cursos universitarios de Química utilizan analogías como herramientas didácticas para extraer la información contenida en ella, debería existir una relación entre:



2. Si existen diferentes 'lecturas' de la tabla periódica, tanto como un todo, como de lo que hay en cada una de sus casillas, el perfil de cada profesor respecto a la función que asigne a la tabla periódica en sus cursos estará determinado por la doble interpretación de esta inscripción.
3. En la literatura se presentan varios caminos alternos para acceder a la tabla periódica (Red 1), sin embargo si los profesores y profesoras de los cursos de Química General en la Universidad del Valle y en la Universidad Autónoma de Barcelona, tienen una formación más científica que histórica deben abordar el estudio de la tabla periódica desde una perspectiva 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.



Red 1

Preguntas de investigación:

Basados en las anteriores hipótesis y retomando nuestro problema a investigar, las dos preguntas que guiarán todo nuestro trabajo a partir de este momento serán:

¿Cómo “leen” los profesores y profesoras la Tabla Periódica?

y con base en esa “lectura”:

¿Qué quieren enseñar los profesores y profesoras cuando explican la tabla periódica en los cursos generales de Química?

Responder a estas preguntas supone establecer tres frentes simultáneos de investigación:

- Lo referente a las ideas de los profesores y profesoras de química respecto a los distintos aspectos relacionados con la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química y a su visión del concepto elemento.
- La revisión del contenido del capítulo de tabla periódica y propiedades periódicas en los libros de texto comúnmente utilizados por los profesores y estudiantes de los primeros años de estudios universitarios.
- La revisión de la literatura científica (Journal of Chemical Education) como fuente primaria en el proceso de transposición didáctica.

2.2.1. Respecto a lo que dicen los profesores

Teniendo en cuenta que el problema básico que se plantea la Didáctica de las Ciencias es cómo enseñar Ciencias significativamente, debemos, fundamentalmente, responder a cuatro preguntas: ¿qué enseñar? ¿cuándo enseñar? ¿cómo enseñar? ¿cómo evaluar los resultados? (Sanmartí, 2000).

¿Qué enseñar?

- ¿Priorizan los profesores y profesoras de los cursos de química general el estudio de las propiedades atómicas de los elementos sin asociarlas a las propiedades de las sustancias simples correspondientes?
- ¿Facilitan los profesores y profesoras de los cursos de química general la construcción de un sistema periódico por parte de los estudiantes a partir de las propiedades macroscópicas de las sustancias simples?
- ¿Hay distinción entre **elemento** y **sustancia simple**?
- ¿Se distinguen las propiedades de los **átomos** y las de las **sustancias simples**?
- ¿Cuáles propiedades periódicas consideran los profesores y profesoras que deben enseñarse en los cursos de química general?
- ¿Cómo se relacionan las propiedades periódicas entre sí?
- ¿Existe alguna que determine marcadamente el comportamiento de las otras?

- ¿Existe un interés en el profesorado de los cursos de química general por el desarrollo histórico que condujo a la tabla periódica que conocemos y manejamos hoy en día?

¿Cuándo enseñar?

- ¿Cuál es el mejor momento en un curso de química general para presentar la tabla periódica? ¿Antes o después de la estructura atómica?
- ¿Cuál es el punto de partida de los profesores y profesoras de los cursos de Química General para abordar el estudio de la tabla periódica: desde una perspectiva histórica o desde una concepción mecánica-cuántica o a partir de las propiedades físicas y químicas conocidas actualmente?

¿Cómo enseñar?

- ¿Qué recursos materiales utilizan para la presentación de la tabla periódica y las propiedades periódicas?
- ¿Qué estrategias didácticas utilizan para la presentación de la tabla periódica y las propiedades periódicas?
- ¿Utilizan analogías para explicar la tabla periódica y las propiedades periódicas? ¿Cómo y cuáles utilizan?

¿Cómo evaluar?

- ¿Qué preguntas de examen proponen los profesores al finalizar el tema de tabla periódica?

Objetivos:

Con base en los planteamientos presentados hasta este momento, los objetivos de este apartado son:

- Conocer el principal interés de los profesores y profesoras de los cursos de Química General de la Universidad del Valle en Cali, Colombia y de la Universidad Autónoma de Barcelona, España, al enseñar la Tabla Periódica
- Analizar si existe distinción entre elemento y sustancia simple y entre las propiedades de uno y otra en los textos de Química General.
- Analizar la “lectura” e interpretación que hacen de la tabla periódica los profesores y profesoras en los cursos de Química General.
- Determinar cuál punto de partida, el histórico, el mecánico cuántico, el estudio de las propiedades físicas y químicas de las sustancias, u otro alternativo, es el preferido por los profesores y profesoras de Química General al iniciar el tema de Tabla Periódica.
- Indagar sobre las propiedades atómicas consideradas de interés por los profesores y profesoras de los cursos de Química General en la Universidad y conocer de que manera las relacionan entre sí.
- Analizar el uso que hacen de las analogías los profesores y profesoras al presentar el tema de tabla periódica y propiedades periódicas en los cursos generales de química.

2.2.2. Respecto a los libros de texto

Preguntas:

- ¿Qué definición dan del concepto elemento?
- ¿Qué propiedades periódicas estudian?
- ¿Presentan la estructura atómica antes o después de la tabla periódica?
- ¿Cuál es el punto de partida para abordar el estudio de la tabla periódica desde una perspectiva histórica o desde una concepción mecánica-cuántica o a partir de las propiedades físicas y químicas conocidas actualmente:?

Objetivos:

Con base en los planteamientos presentados hasta este momento, los objetivos de este apartado son:

- Conocer cual definición de elemento es la que predomina en los libros de texto Química General.
- Determinar cuál punto de partida, el histórico, el mecánico cuántico, el estudio de las propiedades físicas y químicas de las sustancias, u otro alternativo, es el preferido por los libros de texto Química General para iniciar el tema de Tabla Periódica.
- Indagar sobre las propiedades atómicas que son estudiadas en el capítulo de tabla periódica.
- Hacer un estudio de la incorporación de las propiedades periódicas a los textos de Química General Universitaria y analizar la variación de la prioridad dada a las propiedades macroscópicas de las sustancias simples y las propiedades microscópicas de los átomos en los libros de Química General

2.2.3. Respecto a la revisión del Journal of Chemical Education

Preguntas:

- ¿Qué definición dan del concepto **elemento**?
- ¿Cómo ha evolucionado el estudio de la tabla periódica a lo largo del siglo XX?
- ¿Qué propuestas didácticas se encuentran para enseñar la tabla periódica en los cursos generales de química?

Objetivos:

Con base en los planteamientos presentados hasta este momento, los objetivos de este apartado son:

- Conocer las distintas definiciones de elemento propuestas por la comunidad científica antes de ser “consolidadas” en los libros de texto.

- Determinar la interacción de la tabla periódica con otros desarrollos científicos como la determinación de la estructura atómica.
- Comparar las ideas actuales de los profesores participantes de esta investigación con las propuestas presentadas por otros profesores para la enseñanza de la tabla periódica.

En síntesis, en esta investigación queremos:

Determinar qué quieren enseñar los profesores y profesoras sobre tabla periódica en los primeros cursos de química en la universidad, teniendo en cuenta que los libros de textos son, muchas veces, la guía y soporte en el establecimiento de los temas más relevantes y que ellos a su vez se nutren de la literatura científica; para qué lo consideran importante y finalmente, cómo lo enseñan, destacando en este punto el uso de las analogías como herramienta didáctica.

- **Con respecto a los profesores:** Analizar cómo la lectura que hacen de la tabla periódica y la visión que tienen sobre el elemento químico determina su enseñanza.
- **Con respecto a los libros de texto:** Determinar qué aspectos destacan de la tabla y las propiedades periódicas y desde donde abordan su presentación.
- **Con respecto a la literatura científica (JCE):** Determinar cómo ha evolucionado la tabla periódica y su relación con otros avances científicos a lo largo del siglo XX.

3. Organización general de la tesis

Esta memoria está organizada de la siguiente manera:

El capítulo 2 contiene el marco teórico. Este marco teórico se ha dividido en cuatro bloques: 1.- la tabla periódica de los elementos químicos, 2.- los libros de texto de química general, 3.- el conocimiento del profesor y 4.- los modelos y modelización en la enseñanza de la química.

El capítulo 3 describe la metodología utilizada para el tratamiento de los datos provenientes de nuestras tres fuentes, a saber: 1.- el Journal of Chemical Education, 2.- los libros de texto de química general y 3.- los profesores.

El capítulo 4, que hemos denominado “El saber sabio”, corresponde al análisis y discusión de la revisión de los artículos del Journal of Chemical Education.

El capítulo 5, llamado “Una transposición”, contiene el análisis de la revisión de los libros de texto de química general. Este capítulo está dividido en dos partes. La primera se refiere, en primer lugar, al libro *Principios* en el que Dimitri Mendeleiev narra, paso a paso, el proceso a través del cual, mediante el estudio de unas determinadas propiedades de las sustancias, llegó a la ley periódica. En segundo lugar se comenta el libro *The periodic table of the elements* de R.J. Puddephatt y P.K. Monaghan, (1990), como un ejemplo de texto que accede a la enseñanza de la tabla periódica a través de un camino completamente distinto al de Mendeleiev, la configuración electrónica. Esta primera parte también incluye los comentarios sobre algunos textos publicados a fines del siglo XIX y principios del XX, hasta la aparición del libro *Química General* de Linus Pauling (Premio Nobel de Química en 1954) publicado en 1947, el cual marcó una nueva era en los libros de texto universitarios de química. La segunda parte de este capítulo corresponde al análisis de la revisión de 27 libros de texto de química general publicados a partir de 1967, prácticamente un siglo después de la aparición de la tabla periódica en el libro *Principios* de Mendeleiev.

El capítulo 6, que hemos designado como “El saber enseñado”, corresponde al análisis de los todos los datos recogidos con los profesores y profesoras participantes en esta investigación. Este capítulo está dividido en cuatro secciones: I.- el cuestionario, II.- la primera entrevista, III.- la segunda entrevista y IV.- el uso de las analogías en la enseñanza de la tabla periódica. En las secciones II, III y IV se hace la discusión correspondiente a los aspectos analizados.

El capítulo 7 presenta la emergencia de los perfiles de los profesores, obtenidos por la correlación de los resultados obtenidos en el capítulo 6.

En el capítulo 8 se discuten y correlacionan todos los resultados obtenidos a través del análisis de los datos recogidos en las distintas fuentes de este trabajo.

El capítulo 9 reúne las conclusiones, innovaciones y propuestas generadas a través de las reflexiones y discusiones alrededor de los distintos puntos tratados en esta memoria.

Seguidamente se presenta la bibliografía, separada en tres bloques. El primero corresponde directamente a las citas de esta memoria. El segundo bloque corresponde a la bibliografía consultada para mi tesina sobre el uso de las analogías (Linares, 2002) y el tercero corresponde a los artículos revisados en el *Journal of Chemical Education* a los que se refiere el capítulo 4.

Por último se encuentran los anexos que sirven de soporte a este trabajo. Por razones del extenso número de hojas que tienen algunos de los ellos, estos se han recogido en el CD adjunto. Solamente se presentan impresos los formatos de tabla periódica utilizados durante la segunda entrevista y el anexo 6 correspondiente a la elaboración de las tablas de coherencia

Capítulo 2

Marco teórico

1. La tabla periódica de los elementos químicos

Desde el principio de los tiempos la especie humana se ha sentido intrigada por todo aquello que la rodea y ha buscado explicaciones que satisfagan su curiosidad por entender el mundo. Una de estas primeras preguntas fue: “¿De qué están hechas las cosas?”, y comenzaron a aparecer teorías al respecto. Sin embargo, aún antes de haberse puesto muy bien de acuerdo en una única definición para estos “**elementos**” constituyentes de todo lo visible y lo invisible, los científicos se vieron abocados a ordenarlos de alguna manera, pues a medida que la química se iba perfeccionando, iban descubriendo cada vez un número mayor de ellos. Algunos de estos elementos tenían características muy similares y otros, en cambio, mostraban propiedades tan diferentes, que parecían complementarse unos con otros.

Así, tras años de discusiones e investigaciones en distintos puntos del planeta y con la minuciosa persistencia y laboriosidad de un profesor empeñado en preparar un buen curso de química para sus estudiantes, se promulgó finalmente en 1869, la ley periódica. En palabras de Bensaude-Vincent, ya citada (1995, p. 507): “*Una urgencia pedagógica constituye, pues, el origen del descubrimiento*”.

He aquí una breve historia de cómo se llegó a la tabla periódica de los elementos químicos que hoy en día conocemos:

1.1. Desde los orígenes hasta la ley periódica de Dimitri Mendeleiev

ELEMENTO

*Es una palabra muy antigua, que pertenece al ámbito del razonamiento, más que al de la realidad. En latín su forma propia es el plural: **elementa**, -orum. Al parecer los primeros **elementos** a los que dieron los romanos este nombre fueron las letras del alfabeto, de ahí que se usara **elementa** como sinónimo de alfabeto (a, b) o abecedario (a, b, c). Por lo mismo se llamó **elementos** (*elementa puerorum*) a lo que se enseñaba a los niños al empezar la escuela (al viejo pedagogo que le enseñaba al niño las primeras letras lo llamaban *elementarius senex*)...*

<http://www.elalmanaque.com/Jun03/21-06.htm>

*Todo era frío o caliente
Y además húmedo o seco,
Y de esta forma sencilla
Se explicaba el Universo.*

En el lenguaje filosófico aristotélico, un **elemento** correspondía a la combinación de dos pares de propiedades opuestas: frío y calor, humedad y sequedad. Estas combinaciones producían cuatro **elementos** así: calor y sequedad daban origen al **elemento fuego**, calor y humedad, al **elemento aire**, frío y sequedad, al **elemento tierra** y frío y humedad al **elemento agua**.

De modo que al hablar del **elemento agua** en el sentido aristotélico, por ejemplo, no se hacía referencia a la sustancia que conocemos con ese mismo nombre, sino a la más estrechamente relacionada con las propiedades de tal “**elemento**” (Asimov, 1999).

Por otra parte, se conocían desde la antigüedad siete metales – sustancias aparentemente puras – que fueron asociados a los siete cuerpos celestes así: el oro con el sol, la plata con la luna, el cobre con Venus, el mercurio con Mercurio, el hierro con Marte, el estaño con Júpiter y el plomo con Saturno. La alquimia de los primeros siglos de nuestra era asignó los mismos símbolos a unos y otros, y era común llamar “cáustico lunar” a lo que hoy denominamos nitrato de plata.

Así, poco a poco, el concepto filosófico de elemento y la noción material de sustancia se iban entretrejiendo de alguna manera. La teoría de los cuatro elementos consideraba

entonces que las diferentes sustancias del universo se diferenciaban sólo por la naturaleza de la mezcla elemental, lo cual podría ser cierto o no según se aceptase o no la teoría atomiscista, ya que los elementos podrían mezclarse como átomos o como una sustancia continua (Asimov, 1999).

De otra parte, la tradición alquimista, por llamarla de alguna manera, se había paseado durante casi 20 siglos por China, India, Grecia y el Islam medieval hasta llegar finalmente a Europa, recogiendo a su paso, las ideas filosóficas de Aristóteles y sus cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego y los dos principios desarrollados por el árabe Geber: el “principio azufre”, masculino, cálido y activo que representaba la propiedad de la combustibilidad y el “principio mercurio”, femenino, frío y pasivo, representando la fusibilidad y la volatilidad. Además, el cristianismo reinante en Europa y otras religiones históricas fortalecían las ideas de muerte y resurrección, de la presencia de Dios en la naturaleza, y de que “así como es arriba es abajo”, “*todo lo que ates en la tierra será atado en el Cielo y todo lo que desates en la tierra será desatado en el Cielo*” (Mateo 18,18). Para conocer a Dios, había que conocer la Naturaleza, y para extraerle a la Naturaleza sus secretos, nada mejor que la alquimia.

*La Alquimia, palabra árabe,
Mezcla de ciencia y de arte
-tildada de brujería-
en malolientes marmitas
buscaba sin descansar
transmutación de metales,
sublimación del espíritu,
el elixir de la vida,
¡la piedra filosofal!*

*Dragones y salamandras
Como enigmáticos signos
Encerraban los secretos
De un profundo esoterismo.
Más de uno fue a la hoguera
Por no dar explicación
De lo que hervía en sus retortas
A la Santa Inquisición.*

Por una parte, la transmutación de los metales comunes en oro, por otra, la búsqueda de la perfección espiritual. Ambas requerían, como en la tradición cristiana, el paso figurado por la muerte, para renacer a la vida eterna. Todo esto debía realizarse bajo la adecuada influencia de los astros y cuidándose además de utilizar un lenguaje esotérico y una simbología tan particular que no pudiera ser comprensible para el común de las gentes, pues tanta sabiduría en malas manos podría ser altamente peligrosa.

Puede considerarse que la alquimia comenzó a transformarse en ciencia química a partir del siglo XVI, con el médico suizo Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493 – 1541),

más conocido como Paracelso.¹ A los dos principios anteriormente mencionados, mercurio y azufre, Paracelso añadió la sal. Entonces, todo lo que ardía revelaba la presencia de azufre, lo que se fundía y evaporaba la del mercurio, y lo que permanecía después de la combustión, la fusión o la evaporación, era sal. Él expresaba que aunque aparentemente nuestra percepción nos hiciera creer que un cuerpo cualquiera consistía en una unidad desprovista de cualquier articulación interna, la realidad era que los tres principios se hallaban presentes de forma invisible en todas las sustancias. Así, para encontrar el verdadero conocimiento, para conocer la realidad, era necesario mirar más allá de la apariencia y descomponerla en sus partes hasta que cada una se hiciera visible y tangible. A este respecto, solía decir: *“Las ciencias naturales son un intento de ver más allá de la envoltura externa de las sustancias, es desnudar la naturaleza”*.

Obsesionado con la idea de extraer de la naturaleza toda la sabiduría y el bienestar posibles, Paracelso buscaba en cada preparación mineral, vegetal e incluso, animal, la forma de conseguir la quintaesencia, la esencia vital contenida en todas las sustancias materiales, ya fuera en forma de elixires, de arcanos – compuestos de preparación secreta- o de magisterios –compuestos con propiedades maravillosas.

Además, como para él era muy importante la estrecha relación entre lo de arriba y lo de abajo, entre el macrocosmos y el microcosmos, Paracelso planteaba que era necesario conocer el astro que regía al arcano y el astro que presidía a la enfermedad en cuestión para poderlos oponer y sanar al enfermo.

Pero a parte de los tres principios, había cinco entidades que también eran responsables de los males de los hombres y las mujeres. Estas cinco entidades eran: la entidad de los astros, que tenía que ver con todo lo que rodeaba a los hombres, por ejemplo, la tuberculosis era producida por la contaminación del aire; la entidad del veneno, que se refería a los desechos tóxicos de las comidas y las bebidas. Puesto que según él dentro de cada ser había un alquimista, el organismo debía separar lo bueno del veneno y expulsar lo dañino, pero

¹ Tomado de algunos apartes de “Paracelso: ¿Maestro o charlatán? Cinco comunicaciones a mi nieto Tomás amado sobre alquimia y otras cosas”, basado en Asimov (1999), Babor y Ibarz (1974), Bensaude-Vincent y Stengers (1997), Bianchi (1994), Debus (1987), Jung (1995) y Rivière (2000) y presentado como trabajo final del curso “Química de los Principios” ofrecido por la doctora Mercè Izquierdo dentro del programa de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas de la UAB.

obviamente, esto no siempre ocurría así; la entidad natural, que tenía que ver con el propio biorritmo y con la herencia; la entidad espiritual, que estaba relacionada con el mundo de los sentimientos y la voluntad, y aquí quedaban incluidas las enfermedades psicosomáticas, y la entidad divina, correspondiente a lo que podríamos llamar *kármico* o providencial, es decir, aquello que escapaba a la acción del médico y que dependía únicamente de la voluntad de Dios.

En resumen, Paracelso hablaba de una quintaesencia, dos cosmos, tres principios, cuatro elementos y cinco entidades.

Como afirman Bensaude-Vincent y Stengers (1997, p.18):

“Elementos, principios y átomos nos acompañarán a lo largo de toda la historia de la química, pero no se refieren a un mismo objeto, a una continuidad conceptual a la que se habría sometido la historia de la química. En cambio, la recuperación de estos términos no será arbitraria: designan una tensión entre las diferentes estrategias de explicación de las cualidades y de sus transformaciones que constituirá un problema insistente, al que la historia de la química no dejará de reinventarle un sentido, hasta el siglo XX”.

Según Hannaway (1975), el libro *Alchemia* de Andreas Libavius, editado en 1597 marcó el nacimiento de la química moderna. Este libro, diseñado para enseñar química a los médicos y boticarios de la época, presentaba los procedimientos y resultados de la química experimental del Renacimiento, que habían sido interpretados a la luz de la magia natural. Disimulando cuidadosamente la teoría mágica subyacente, Libavius resaltó en su libro el aspecto práctico de la química renacentista que permitía obtener medicamentos útiles y valiosos. Y así, poco a poco, se fue estructurando una nueva “teoría química”, la química de las sustancias, basada en la práctica artesanal del cambio de los materiales para obtener un producto útil. Estos procedimientos eran controlados para poder repetirlos y mejorarlos.

En el siglo XVII, los farmacéuticos tenían los mejores, y quizás únicos, laboratorios de química. En ellos se preparaban “espíritus” y “vitriolos”, como el “espíritu ardiente de Saturno”, cuya descripción aparece en el *Livre Premier des elements de chimie*, de J. Béguin, publicado en 1620. Curiosamente, este “espíritu de saturno” (plomo), que no es otra cosa que acetona, obtenida por la reacción de plomo y ácido acético (vinagre), no

contiene plomo, aunque su nombre sugiera lo contrario. En 1693, Nicolás Lemery, médico y farmacéutico, en cuyo laboratorio situado *“en el sótano de la calle Galande, donde enseñó durante veinticinco años y se apretujaba una multitud de oyentes de todas las clases sociales, desde la gran señora al estudiante”* (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997, p.35), vuelve a hacer referencia a este “espíritu de Saturno”. Ya han observado que en la retorta donde se lleva a cabo la reacción queda un residuo del que se puede recuperar nuevamente el plomo, por lo que este no puede estar presente en el “espíritu” obtenido, mientras que el vinagre ha desaparecido, así que ahora lo describe como *“un licor inflamable que sale de la sal de Saturno que procede del espíritu del vinagre”*. En ediciones posteriores Lemery aclaraba que: *“Talvez sí que sería mejor dejar de hablar de la obtención del espíritu ardiente de Saturno y decirle destilación o, mejor aún, separación de las sustancias contenidas en la sal de Saturno...”* (Izquierdo, 2003, 2003a).

Estas operaciones químicas eran parte de los hechos empíricos que podían dar testimonio de la existencia de los átomos (evaporación, rarefacción, condensación, disolución) ya que podían describirse en función de la materia discontinua (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997) y el tipo de razonamiento como el del espíritu ardiente de Saturno iba guiando el camino para diferenciar entre una sustancia simple, el plomo metal o Saturno, en este ejemplo, y una compuesta, como el acetato de plomo, y entre una sustancia simple y un elemento, como el plomo que está presente en el acetato de plomo y en el residuo que queda en la retorta (Izquierdo, 2003a).

El siglo XVII fue, a su vez, testigo de los más amplios debates acerca del atomismo. Mientras que en 1624 los parisinos Jean Bitaud y Antoine de Villon eran considerados sospechosos de ateísmo y detenidos por defender públicamente que todo está compuesto por átomos indivisibles, años después Gassendi en Francia y Boyle en Inglaterra sostenían que *“los átomos permiten concebir el mundo como una máquina sometida a la voluntad de su Creador, a quien le corresponde toda la gloria”*. (Bensaude- Vincent y Stengers, 1997, p.30).

Por un lado el alemán Daniel Sennert en 1631 y por otro el francés Sébastien Basso en 1636, pusieron sobre el tapete una pregunta que aún subsiste: ¿Qué relación se establece entre los átomos, partículas últimas, y los corpúsculos, portadores de las propiedades químicas específicas y que pueden ser identificados mediante operaciones químicas? Hoy

podríamos quizás reformular la pregunta así: ¿Qué relación existe entre el átomo físico y el átomo químico?

Estos dos iatroquímicos eran en esencia ideólogos, cuyos planteamientos despertaban amplias discusiones entre los aficionados a las distinciones conceptuales. El motivo central de divergencia entre los atomistas y los seguidores de las ideas aristotélicas era la existencia “real” o solo “potencial” de los elementos que integraban un compuesto. Estas discusiones trascendían las transformaciones químicas y alcanzaban la teología: ¿En qué sentido el pan y el vino se convierten en el cuerpo y la sangre de Cristo durante la eucaristía?

Basso propuso dos metáforas para explicar los átomos. La primera proponía que los átomos eran como las letras de un alfabeto, cuya combinación da origen a distintas palabras. En esta metáfora, cada átomo sería diferente de los otros y esta diferencia es la que permite que su conjunto tenga sentido. La segunda metáfora comparaba los átomos con los ladrillos de un edificio. Aunque todos los ladrillos sean idénticos, las edificaciones que se construyen con ellos no tienen por qué parecerse entre sí. Este átomo ladrillo daba la idea de una materia primordial homogénea y reducía las diferencias cualitativas a una cuestión de configuración. Las opiniones de los químicos se dividieron. Los historiadores han denominado “químicos mecanicistas” a aquellos que optaron por la metáfora del átomo-ladrillo, atribuyéndole a los átomos solamente propiedades “primarias”, como la extensión, forma, impenetrabilidad y masa.

Sennert, por su parte, consideraba, como químico, que era esencial afirmar que el compuesto era un agregado, pero como filósofo, planteaba el problema de la identidad del agregado. Finalmente, llegó a una posición similar a la de Avicena, en el sentido de que cuando se formaba un compuesto, se conservaban las formas de los elementos pero sus propiedades sufrían un debilitamiento en su intensidad.

De todos modos, las dos metáforas propuestas por Basso, presentaban el atomismo como una base segura para la construcción de una nueva ciencia, el átomo era simultáneamente un principio de construcción de la realidad y del conocimiento. En la química operativa, la idea de que las partículas presentes en las combinaciones y separaciones eran, en sí mismas,

invariantes, privilegió las operaciones químicas reversibles, es decir, aquellas que permitían recuperar el producto de partida, como por ejemplo, el oro disuelto en agua regia. Aunque aparentemente, el oro desaparecía, podía recuperarse de la solución. Así además, se iban perfeccionando los procesos de purificación. Una reacción de este tipo es retomada por Izquierdo e Izquierdo, (2002) para explicar el cambio químico en *Or per à la llibertat*.

Para Sennert, los procesos empíricos en los que podía separarse un metal, constituían también una prueba de la existencia de los átomos.

En 1675, Nicolas Lémery publicó su libro *Cours de chymie*. En él explicaba que los ácidos debían sus propiedades a las partículas puntiagudas que los constituyen, lo cual se manifestaba por el picor en la lengua o la forma de las sales ácidas cristalizadas. Por esta misma razón, al poner en contacto un ácido con un cuerpo calcáreo, compuesto por partículas rígidas y quebradizas, se observaba una efervescencia. Las puntas del ácido penetraban los poros del cuerpo calcáreo, rompiéndolo. Treinta años después, Homberg modificó estos conceptos explicando que, en las sales neutras, las puntas del ácido no rompían el álcali, sino que entraban en él, como las espadas en sus fundas, de las que, si la sal se descomponía nuevamente, podían volver a salir. De esta manera, la composición “enmascaraba” la acidez, pero no la destruía (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

*A mitad del diez y siete
“El químico más escéptico”
-el irlandés Robert Boyle-
plantea un primer concepto
sobre lo que es “elemento”:
“cuerpo simple o primitivo
que hace parte de otros cuerpos”.*

En 1661, el irlandés Robert Boyle, en su famosa obra “El Químico Escéptico” definió los **elementos** como:

“... ciertos cuerpos primitivos y simples que no están formados de otros cuerpos, ni unos de otros, y que son los ingredientes de que se componen inmediatamente y en que se resuelven en último término todos los cuerpos perfectamente mixtos...” (Babor e Ibarz, 1974).

Esta definición ha sido considerada por algunos historiadores como un concepto “negativo empírico” y proponen una nueva lectura de tal definición más acorde con el espíritu escéptico que el libro exhibía desde su título (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997, p.35):

“Llamo ahora elementos a ciertos cuerpos primitivos y simples, perfectamente puros y sin mezcla; que no están formados por ningún otro cuerpo, ni unos por otros, que son los ingredientes a partir de los cuales

se componen todos los que llamamos mixtos perfectos, y en los que finalmente éstos se pueden descomponer. Y lo que me pregunto ahora es si existe un cuerpo de este tipo que se encuentre de manera constante en todos, y en cada uno, de los que consideramos constituidos por elementos”.

Boyle mostraba un escepticismo total respecto a que el químico pudiera observar los elementos o hacer algo con ellos..

Esto significaba que los elementos ya no eran principios universales de explicación presentes en todos los compuestos. ¿Cuántos elementos había entonces? Para Boyle, la consecuencia del atomismo mecanicista era que todos los cuerpos químicos estaban constituidos por una misma materia “católica o universal” pero con “texturas diferentes”, con lo cual la metáfora de las letras del alfabeto debía modificarse por esta otra: los átomos serían como los caracteres tipográficos de imprenta, todos hechos de la misma materia.

Boyle criticaba las separaciones por “vía seca” y prefería el calentamiento lento, que permitía el cambio en las texturas, al sometimiento a fuego violento, que sólo producía “criaturas del fuego”. Para él, la única teoría química posible debería ser mecanicista, tener como objeto las texturas de los cuerpos y el químico debería contentarse con definiciones y criterios obtenidos a partir de lo que él mismo llamó “análisis químico”. Así, por ejemplo, Boyle inventó el “experimento de la llama” para reconocer sustancias por la coloración de la llama, de manera similar a como se distinguían, por su color, los vitriolos de hierro, zinc y cobre, verde, blanco y azul, respectivamente.

La definición de Boyle, probablemente malinterpretada, y la química inspirada en el análisis de las sustancias parecían romper la relación entre el “elemento” como principio portador de inteligibilidad y el “elemento” como cuerpo que el químico no puede descomponer.

En 1699, año en que Lémery fue nombrado miembro de la Academia Real de Ciencias, Fontenelle, quien fuera el secretario perpetuo de tal institución, escribió:

“La química, mediante operaciones visibles, descompone los cuerpos en ciertos principios toscos... la física, mediante delicadas especulaciones, actúa sobre los principios como lo hace la química sobre los cuerpos; ésta los descompone en otros principios aún más simples... El espíritu de la química es más confuso, está más envuelto; se parece más a los cuerpos mixtos, donde los principios se estorban unos a los otros; el espíritu de la física es más sencillo, más desenvuelto, se remonta, finalmente, a los primeros orígenes, el otro no llega hasta el final” (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997, p.40).

Para él, como para Boyle, la única química verdadera estaría basada en átomos sin más cualidades que las geométricas.

Un lustro más tarde, el entonces presidente de la Royal Society de Londres, Isaac Newton, publicó su libro *Óptica* y dedicó su última pregunta, la Cuestión 31, a profundizar la polémica entre la interrogación teórica y la práctica experimental que pretendía explicar el comportamiento de las sustancias y los átomos. Newton aceptaba los átomos como partículas “*sólidas, con peso, duras, impenetrables, móviles*” que muy probablemente Dios creó en el principio, pero no estaba de acuerdo con que estuvieran caracterizadas únicamente por el principio pasivo de la fuerza de la inercia, ya que de ser así, no existirían “*ni destrucción, ni generación, ni vegetación, ni vida*”. Para él, tanto el movimiento acelerado de los cuerpos celestes, como los fenómenos químicos y la luz dependían de “*principios activos*”, no de la mecánica. (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997, pp.46-47)

A las puertas del siglo XVIII, a las diversas hipótesis y teorías acerca de qué y cómo eran los elementos, los átomos y las sustancias y cómo se relacionaban entre sí, se sumaba la confusión de cómo llamarlos y representarlos. De ahí que muchos compuestos llevaran el nombre de su inventor, como la sal de Glauber o el licor de Libavius. Incluso hoy en día, se conserva esta tradición en ejemplos tan conocidos como el reactivo de Grignard. Se hablaba de espíritus, vitriolos, flores, humos y aceites y casi era necesario adivinar de qué sustancia estaban hablando. No era extraño encontrar un mismo nombre para sustancias diferentes o varios nombres para la misma. Un primer intento para racionalizar la nomenclatura química lo hicieron Rouelle, Macquer, Cullen, Bergman, entre otros, introduciendo nombres genéricos como vitriolos y eliminando las redundancias.

Así, mientras los químicos discutían sobre lo que era un elemento e imaginaban como serían los átomos, las sustancias simples y compuestas, aisladas o preparadas en los laboratorios, se iban acumulando sin que encontraran una forma adecuada para su clasificación.

En 1718, Claude Joseph Geoffroy presentó a la Academia de Ciencias en París su tabla de relaciones observadas entre diferentes sustancias. Esta tabla está basada en reacciones en

las cuales un cuerpo desplaza a todos los que le siguen y es desplazado por todos los que le preceden (reacciones de desplazamiento).

TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS
observés entre différentes substances

☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓										
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓	☉	☽	☿	♁	♂	♃	♄	♅	♆	♇	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓

☉ Esprit acide
☽ Acide de sel marin
☿ Acide nitreux
♁ Acide nitrique
♂ Sel alkali fixe
♃ Sel alkali volatil
♄ Zinc aboustant
♅ Sublimé métallique
♆ Mercure
♇ Rosule d'Antimoine
♈ Or
♉ Argent
♊ Cuivre
♋ Fer
♌ Plomb
♍ Etain
♎ Zinc
♏ Pierre d'alchimie
♐ Soufre naturel
♑ Principe huileux ou esprit Princeps
♒ Esprit de rommarie
♓ Eau
♈ Sel
♉ Esprit de vin et esprit ardent

Tabla 1. Tabla de relaciones de Geoffroy, tomada de Stengers, 1991, p. 341

La tercera columna de la tabla de Geoffroy se refiere a las mismas reacciones planteadas por Newton en la pregunta 31 de su *Óptica*:

“¿... cuando una solución de hierro en Aqua fortis (ácido nítrico) disuelve la Lapis Calaminaris (cadmio), dejando libre el hierro, cuando una solución de cobre disuelve el hierro inmerso en ella, dejando libre el cobre, cuando una solución de plata disuelve el cobre dejando libre la plata, o una solución de mercurio en Aqua fortis (ácido nítrico) se derrama sobre hierro, cobre, estaño o plomo y disuelve el metal dejando libre el mercurio, ¿acaso esto no muestra que las partículas ácidas del Aqua fortis(ácido nítrico) se ven más fuertemente atraídas por la Lapis Calaminaris (cadmio) que por el hierro, más fuertemente por el hierro que por el cobre, más por el cobre que por la plata y más fuertemente aún por el hierro, cobre, estaño y plomo que por el mercurio?”

Sin embargo, mientras Geoffroy las presentaba prudentemente como relaciones, Newton explicaba de una vez la reacción y los enlaces que se forman en ella debido a las fuerzas atractivas (Stengers, 1991).

A esa tabla se la conoció después como “Tabla de afinidades”. El término metafórico “afinidad” pertenecía al vocabulario tradicional de la química y de la alquimia. En 1776, en el suplemento de la *Enciclopedia* de Diderot, Bernard Guyton de Morveau escribía (Stengers, 1991, p.340):

“Durante mucho tiempo este término sólo tuvo un significado vago e indeterminado que indicaba una suerte de simpatía, una verdadera propiedad oculta, por la cual distintos cuerpos se unían con mayor o menor facilidad”.

Posteriormente, en el siglo XIX, Wurtz se referiría a la afinidad como *“la fuerza que preside las combinaciones químicas”*, una metáfora similar a la de la “ley de la gravedad” o la “selección natural”(Nye, 1993). Actualmente los químicos seguimos utilizando el término afinidad como, por ejemplo, cuando nos referimos a la “afinidad electrónica” como una medida de atracción de un átomo por un electrón externo.

Cabe hacer un paréntesis en esta historia para resaltar la importancia de la permanente interacción del pensar, el hacer y el hablar a que se refiere Izquierdo (2003a). Con este propósito transcribo unas líneas de Stengers (1991, p.343) relacionado con el uso de la palabra “afinidad” y su influencia en la creación de las tablas químicas, una de las cuales es el objetivo de nuestro trabajo.

“Cuando se crea una palabra nueva, su destino escapa a menudo al control de sus creadores. El término ‘afinidad’ que, al principio, se limitaba a ser oficialmente ‘agnóstico’, será adoptado, de hecho, tanto por los newtonianos como por los que defienden que la afinidad no tiene nada que ver con la atracción newtoniana. Sin embargo, aunque el término en sí mismo no pueda servir de distintivo, su función en la práctica de los químicos traducirá, por su parte, la ambigüedad profunda que la propia afinidad conlleva: se pondrá de manifiesto que la afinidad se impone como un concepto newtoniano por su calidad de noción ‘puramente empírica’, neutra, guía práctica de los ‘creadores de tablas’.”

Según Stengers, la primera ‘tabla de afinidad’ de Geoffroy importó clandestinamente la química newtoniana a Francia. Después de la suya, aparecieron otra dos nuevas tablas entre 1718 y 1750, tres en los años cincuenta, cuatro en los sesentas y cinco en los setentas. En 1766 Pierre Joseph Macquer publicó su *Dictionnaire de Chymie* y las tablas de afinidad se multiplicaron, sobresaliendo entre ellas las del sueco Torbern Bergman, con 49 columnas que incluían 27 ácidos, 8 bases y 14 metales y otros elementos.

De otra parte, había quienes estaban más preocupados por las cualidades internas que calificaban a un cuerpo como tal que por las interacciones de estos cuerpo entre sí. Entre ellos estaba el químico y médico Gabriel-François Venel quien abogaba *“por una práctica científica abierta, en la que los que ‘piensan’ se dignarían por fin a asociarse a los que ‘actúan’, en los que tienen ‘muchas ideas y ningún instrumento’ aprenderían a colaborar con los que tienen ‘muchos*

instrumentos y pocas ideas” (Stengers 1991, p. 349) reclamando la necesidad de pensar, actuar y hablar coordinadamente (Izquierdo, 2003a).

Vernel, quien trabajaba directamente con Diderot en la *Enciclopedia*, estaba interesado entonces en conocer las cualidades intrínsecamente pertenecientes a los *corpúsculos* constituyentes de los agregados. Según él, el agregado sólo se establecía entre sustancias homogéneas, mientras que las sustancias heterogéneas daban lugar a las mezclas.

Simultáneamente, hacia la mitad del siglo XVIII los químicos adoptaron una serie de convenciones que fueron negociadas para finalmente ser aceptadas socialmente. Uno de estos acuerdos fue la nomenclatura de los símbolos para los elementos y para sus combinaciones. En 1787 apareció la nueva nomenclatura francesa bajo la autoría de Fourcroy, Berthollet, Lavoisier y Guyton de Morveau. A pesar de las protestas de algunos, como Davy o Priestley, esta nueva nomenclatura se impuso y los químicos del mundo comenzaron a hablar “un mismo idioma” (Nye, 1993).

*Así fue como este joven,
Antoine Laurent Lavoisier,
Con la paciencia de un santo
Y una muy buena mujer,
La conservación de masa
Al fin logró establecer.*

*Colocó el agua en reflujo,
Pesó antes y después
Y observando, cuidadoso,
Dijo en perfecto francés:
“de esta agua que aquí hierve
nada se gana o se pierde”.*

Un siglo después de haber sido enunciada por primera vez, uno de estos franceses, Antoine Laurent Lavoisier, retomó la definición de elemento como cuerpo que no se puede descomponer experimentalmente. Sin embargo, su uso era alternado como sinónimo de cuerpo simple o sustancia simple. Además, Lavoisier hizo dos grandes aportaciones a la química. La primera fue la determinación de la conservación de la masa, con lo cual la predominante teoría del flogisto del alemán George Stahl comenzó a venirse

abajo y de paso motivó que muchos lo consideren como “el padre de la Química Moderna”. La segunda fue su “tabla de sustancias simples”, que aunque incluía por error algunas sustancias compuestas y algunas “no sustancias” como la luz y el calórico, fue el primer esbozo de una tabla ordenadora de los elementos químicos.

	NOMS NOUVEAUX.	NOMS ANCIENS CORRESPONDANTS.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes, et qu'on peut regarder comme les éléments des corps.	Lumière	Lumière. Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu.
	Calorique	Matière du feu et de la chaleur. Air déphlogistiqué. Air empiréal.
	Oxygène	Air vital. Base de l'air vital. Gaz phlogistique.
	Acide	Mofette. Base de la mofette. Gaz inflammable.
	Hydrogène	Base du gaz inflammable. Soufre.
Substances simples, non métalliques, oxydables et acidiâbles.	Soufre	Soufre.
	Phosphore	Phosphore.
	Carbone	Charbon pur.
	Radical muriatique	Inconnu.
	Radical fluorique	Inconnu.
	Radical boracique	Inconnu.
	Antimoine	Antimoine.
	Argent	Argent.
	Arsenic	Arsenic.
	Bismuth	Bismuth.
Substances simples, métalliques, oxydables et acidiâbles.	Cobalt	Cobalt.
	Cuivre	Cuivre.
	Étain	Étain.
	Fer	Fer.
	Manganèse	Manganèse.
	Mercur	Mercur.
	Molybdène	Molybdène.
	Nickel	Nickel.
	Or	Or.
	Platine	Platine.
Substances simples, salifiables, terreuses.	Plomb	Plomb.
	Tungstène	Tungstène.
	Zinc	Zinc.
	Chaux	Terre calcaire, chaux.
	Magnésie	Magnésie, base de sel d'Époux.
	Baryte	Barote, terre pesante.
Alumine	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.	
Silice	Terre siliceuse, terre vitrifiable.	

Tabla 2. Tabla de las sustancias simples de Lavoisier. Tomada de Bensaude-Vincent, 1991, p.426

A partir de entonces, la solución para enseñar a los estudiantes el conjunto de conocimientos acumulados sobre las miles de sustancias conocidas, parecía consistir en relacionar las propiedades de los cuerpos compuestos con las de los cuerpos simples que los componían.

En 1803 John Dalton presentó su teoría atómica, en la que proponía que los **átomos** de un mismo **elemento** eran iguales entre sí, y diferentes a los de otros elementos, lo que equivalía a decir que un **elemento** estaba constituido por **átomos**

*Algunos años después
Comenzando el diecinueve
La vieja idea de "átomo"
En una mente se mueve...*

idénticos. Los elementos y los compuestos eran representados por unos nuevos símbolos creados por el mismo Dalton. Sus átomos ya no eran las unidades mínimas de composición de la materia sino unidades mínimas de combinación. Y los pesos atómicos fueron

definidos como la cantidad ponderal que se une con un gramo de hidrógeno para formar la combinación más estable (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

De otro lado, la pila descubierta por Alessandro Volta en 1800 desencadenó una serie de descubrimientos de nuevos elementos, que en pocos años duplicaron su número, sin que hasta entonces nadie hubiera logrado ordenarlos sistemáticamente.

Antes de 1700	1700-1799	1800-1849	1850-1899
Antimonio	Nitrógeno	Aluminio	Actinio
Plata	Berilio	Bario	Argón
Arsénico	Bismuto	Boro	Cesio
Carbono	Cloro	Bromo	Disprobio
Cobre	Cromo	Cadmio	Gadolinio
Estaño	Cobalto	Calcio	Galio
Hierro	Fluor	Cerio	Germanio
Mercurio	Hidrógeno	Erbio	Helio
Oro	Manganeso	Yodo	Holmio
Fósforo	Molibdeno	Lantano	Indio
Plomo	Niquel	Iridio	Criptón
Azufre	Oxígeno	Litio	Neodimio
	Platino	Magnesio	Neón
	Estroncio	Niobio	Polonio
	Telurio	Osmio	Praseodimio
	Titanio	Paladio	Radio
	Tungsteno	Potasio	Rodio
	Uranio	Rubidio	Rutenio
	Itrio	Selenio	Samario
	Cinc	Silicio	Escandio
	Circonio	Sodio	Talio
		Tantalio	Tulio
		Torio	Xenón
		Vanadio	Iturbio

Tabla 3. Tabla de los elementos conocidos hasta fines del Siglo XIX. Tomado de Bensaude-Vincent, 199, p. 508

En 1817, Johann Döbereiner propuso una serie de triadas basadas en la correlación entre analogías químicas y relaciones aritméticas. Por ejemplo, Döbereiner observó que el peso atómico del bromo correspondía al promedio de los del cloro y el yodo, de igual forma, el del sodio equivalía al promedio de los del litio y el potasio. Posteriormente, Leopold Gmelin, amplió las triadas a familias agrupando los elementos de acuerdo a tres parámetros: los que tenían visiblemente el mismo peso atómico, los que tenían pesos atómicos múltiples unos de otros y los que tenían pesos atómicos que originaban triadas como las de Döbereiner. (Bensaude-Vincet, 1991).

*Döbereiner fue el primero
Que en triadas observó
En las medias aritmética
La asombrosa relación
De pesos equivalentes
-pesos de combinación-.*

*Óxidos de calcio y bario
Divididos entre dos
Pesan igual que el de estroncio,
Me lo crea usted o no.*

...
*Con "químicas" similares,
Y siempre de 3 en 3,
La relación aritmética
No le falló ni una vez.*

Buscando una justificación a la cantidad de elementos que iban apareciendo, a principios del siglo XIX, el inglés William Prout propuso que todos los elementos provenían del hidrógeno. No obstante, puesto que algunos pesos atómicos no eran números enteros, Prout modificó su propuesta en el sentido de que todos los pesos atómicos debían ser múltiplos enteros de una fracción del hidrógeno. Esta hipótesis se consolidó con la teoría de la evolución de Darwin y el estudio espectral de los elementos, ambas apoyando la idea de una evolución de la materia a partir de un elemento original (Bensaude-Vincent, 1991).

La hipótesis de Prout promovió, por un lado, las investigaciones tendientes a determinar los pesos atómicos y, por otro, los intentos de sistematizar los conocimientos experimentales sobre los elementos. Así, la clasificación de los elementos estaría determinada por los pesos atómicos y por las relaciones de parentesco entre ellos. Los químicos buscaban, como los naturalistas, agrupar los elementos por familias a partir de indicios de filiación, construir una especie de árbol genealógico para la materia inerte pero, a diferencia de ellos, los químicos se fundamentaban en un principio único y cuantitativo: el peso atómico. (Bensaude-Vincent, 1991, p.513).

***“Dios no puso las cosas al azar,
las colocó de una forma perfectamente ordenadas
y nosotros hasta ahora estamos empezando a comprenderlas.
La tabla periódica es la base solamente.” P13***

El siglo XIX continuaba pleno de nuevos descubrimientos y avances en la Química y en 1860 los químicos se reunieron por primera vez en el Congreso de Química en Karlsruhe. Allí aprobaron los pesos atómicos propuestos por Gerhardt-Cannizzaro, y las propuestas de sistematización comenzaron a proliferar en distintos puntos de Europa.

En 1862, Alex Béguyer de Chancourtois presentó ante la Academia de Ciencias en París su “vis telurique”, consistente en una hélice en cuyo eje vertical estaban los números enteros correspondientes a los pesos atómicos de los elementos y el telurio ocupaba el lugar central. Esta propuesta no prosperó.

Simultáneamente en Inglaterra, John Alexander Newlands y William Odling, tenían sendos proyectos para encontrar una ley general que permitiera la clasificación de los elementos. Al igual que Dimitri Mendeleiev en Rusia y que Lothar Meyer en Alemania, trabajaban sobre la base de los pesos atómicos de Gerhardt-Cannizzaro, aprobados en Karlsruhe.

*Pero ¡ Ah, si hay ignorantes
Aunque sean importantes!
En la "Chemical Society"
Preguntaron con humor
Si en alfabético orden
No habría quedado mejor.*

Newlands propuso un ordenamiento similar al de las notas musicales, en cuyo honor llamó a su sistema "ley de las octavas". Sin embargo, al presentarlo en la honorable Chemical Society of London, fue motivo de burlas y de bromas, con lo cual su propuesta quedó enterrada. Por su

lado Odling, profesor en Oxford, construyó un sistema en el cual los elementos quedaban ordenados de acuerdo al crecimiento de sus pesos atómicos de acuerdo con su idea de que: "entre los miembros de cada grupo bien definido, la secuencia de las propiedades y la secuencia de los pesos atómicos son estrictamente paralelas".(Bensaude-Vincent, 1991, p.515). Pero tampoco su propuesta tuvo eco.

De otra parte, Meyer buscaba relaciones basadas en las valencias y en 1864 presentó su tabla en la primera edición de su manual de Química para sus estudiantes. Sin embargo, la publicación de la segunda edición, en la que presenta su segunda tabla mejorada, tuvo algunos percances y la suerte le jugó una mala pasada.

Entre tanto, mientras preparaba su curso de Química en San Petersburgo, Dimitri Mendeleiev también iba buscando una ley que explicara el patrón de periodicidad que él ya vislumbraba. Todas sus investigaciones iban quedando plasmadas, paso a paso, en su libro *Principios de Química*. Su prioridad era, como lo narra Bensaude-Vincent (1991, p.515), encontrar una ley periódica (Izquierdo,2002) que como ley científica, fuera general.

*Quizás por estar en Rusia
O por eso de la "izquierda",
Cierto es que Mendeleiev
La cosa empezó al revés,
Y en vez de similitudes
Empezó a hallar diferencias.*

*Halógenos y alcalinos,
Dos grupos tan diferentes
Eran, al clasificar,
Sus mejores referentes.....*

"Las leyes naturales no presentan excepciones y ello precisamente las distingue de las reglas gramaticales, por ejemplo. Una ley sólo puede confirmarse cuando todas las posibles consecuencias han sido sancionadas experimentalmente."

“La ley periódica posee los hechos y tiende a profundizar en el principio filosófico que preside la naturaleza misteriosa de los elementos. Esta tendencia pertenece a la misma categoría que la ley de Prout, con la diferencia esencial de que la ley de Prout es aritmética y el espíritu de la ley periódica emana de una secuencia de leyes mecánicas y filosóficas que conforman el carácter y el esplendor del impulso actual de las ciencias exactas.”

Mendeleiev también se esmeró en diferenciar el elemento del cuerpo simple. En el análisis del libro *Principios*, en este trabajo, se detallarán las definiciones que da para cada uno de estos conceptos y la claridad con que los distingue. De hecho, como resalta Bensaude-Vincent (1991), el mismo enunciado de su ley los diferencia:

“Las propiedades de los cuerpos simples y compuestos dependen de una función periódica de los pesos atómicos de los elementos, por la única razón que estas propiedades son en sí mismas las propiedades de los elementos de los que se derivan dichos cuerpos.”

Y luego añade:

“... actualmente se confunden a menudo las expresiones ‘cuerpo simple’ y ‘elemento’. No obsta que cada una de ellas tenga un significado muy distinto y que sea de importancia precisarlo con el objeto de evitar confusiones en los términos de la filosofía química. [...] A la expresión cuerpo ‘simple’ corresponde la idea de “molécula”. [...] Es menester reservar, sin embargo, el nombre de elemento para caracterizar las partículas materiales que forman los cuerpos simples y compuestos, y que determinan la forma en que se comportan desde el punto de vista físico y químico, La palabra ‘elemento’ evoca la idea de átomo.”

Como afirma Bensaude-Vincent (1991, p.516):

“...Esta sencilla precisión de vocabulario casi trivial, trae consigo un cambio completo del paisaje teórico de la química. Ello se debe a que la distancia entre elemento y cuerpo simple organiza la investigación de Mendeleiev y dicta a la química su programa: ‘Profundizar en las relaciones entre la composición, las reacciones y las cualidades de los cuerpos simples y compuestos, por una parte, y las cualidades intrínsecas de los elementos que contienen, por otra, con vistas a deducir del carácter ya conocido de un elemento todas las propiedades de todas sus combinaciones’.”

Según Bensaude-Vincent (1991), a partir de la ley periódica de Mendeleiev, el único principio explicativo es el elemento, el cuerpo simple ya no explica nada, ha quedado relegado junto al cuerpo compuesto al mundo de las manifestaciones. Lo único previsible es el elemento, porque está definido por el lugar que ocupa en la tabla.

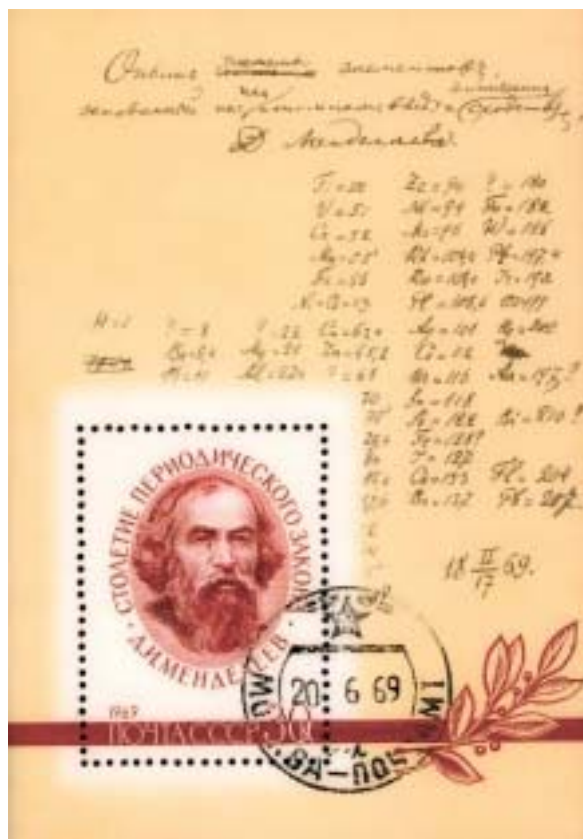


Tabla 4 Tabla original de Mendeleiev (<http://mendeleiev.cyberscol.qc.ca/carrefour/atomix/objets>).

Para Enduran y Scerri (2002) la principal diferencia entre la ley periódica y las leyes físicas es que la periodicidad química es aproximada. Por ejemplo, el litio, el sodio y el potasio, pertenecientes al primer grupo de la tabla periódica no son para nada idénticos entre sí. Sin embargo, gran parte del conocimiento químico se obtiene estudiando los patrones de comportamiento de los elementos pertenecientes a una misma columna de la tabla. Uno de los mayores méritos de Mendeleiev fue haber predicho la existencia y propiedades de algunos elementos desconocidos en su momento. El método descrito por Mendeleiev en sus *Principios* muestra cómo sus pronósticos fueron el resultado de la interpolación simultánea de las propiedades observadas en las filas y columnas de su tabla. Los citados autores consideran que tales predicciones fueron fruto más de una intuición química acumulada que de un sencillo algoritmo como los que los físicos suelen utilizar. En este sentido, proponen destacar las tendencias observadas en la tabla periódica como un ejemplo de cómo se generan y refinan las leyes en química

A pesar de las críticas iniciales a su tabla, y de algunos errores tardíos, como la inclusión del éter en una de sus tablas, la predicción de elementos desconocidos, con sus propiedades previstas de forma tan exacta, hizo que la tabla periódica de Mendeleiev ganara un espacio propio en la química, que aún conserva mucho más de un siglo después (Fernelius y Powell, 1982, Fernelius, 1986).

*Y bueno, aquello del “éter”
No le resultó muy bien,
Pero realmente hizo mucho
Dimitri Mendeleiev
Y la tabla que hoy tenemos
En mucho se la debemos
A este ilustre profesor
Que buscando la manera
De enseñar mucho mejor
Encontró una ley periódica
Y un sistema ordenador.*

Otro factor del éxito de la tabla de Mendeleiev fue que, tal como lo presentía, aun sin conocer la estructura atómica, allí residía la base de sus observaciones en los cuerpos simples y compuestos:

“La variación periódica de los cuerpos simples y compuestos está subordinada a una ley en la naturaleza, pero, por lo menos su causa, no puede aclararse actualmente. Es probable que ella resida en los principios fundamentales de la mecánica interna de los átomos y las moléculas”.

1.2. Desde la ley periódica de Dimitri Mendeleiev hasta hoy

La tabla periódica de Mendeleiev incentivó tanto el trabajo de los químicos como el de los físicos que buscaban cada vez con más ahínco esclarecer la estructura interna de los átomos (Sandford, 1911, Bensaude-Vincent y Stengers, 1997, Scerri, 1998) y encontrar la base intrínseca de la periodicidad.

En 1904, J.J. Thomson proponía la primera explicación física de la periodicidad, sugiriendo que los elementos con una configuración electrónica similar tendrían propiedades similares (Scerri, 1998). Y en 1913, como dicen Bensaude-Vincent y Stengers, (1997, p.196),

“Bohr encaja todas las piezas del rompecabezas. El carácter periódico de la tabla de Mendeleiev puede explicarse por el limitado número de electrones que ocupan una misma órbita: cuando una órbita está llena, se cambia de línea en la tabla”.

*Hoy en día ya sabemos
Que no es por el peso atómico
Mas por el número atómico
Que este orden se establece,
Y el número de elementos
Cada día crece y crece,
Pues los que no se descubren
Surgen artificialmente..*

A partir de los estudios de Rayos X realizados por Henry Moseley

en 1912, y que dieron origen a la ley que lleva su nombre, un **elemento** quedó definido por su número atómico (Z) es decir, por el número de protones en su núcleo. En los siguientes veinte años se dispararon los descubrimientos y teorías que fueron conformando la teoría atómica que hoy conocemos y la base de la periodicidad encontrada por Mendeleiev salió a la luz.

Según Kolodkine (1963): “...desde 1913, seis años después de la muerte de Mendeleiev, la ley periódica ha sido explicada y confirmada de una manera ejemplar por la propia estructura del átomo”. A partir de entonces, y especialmente durante la primera mitad del siglo XX, se notaba el regocijo entre los científicos por este nuevo hallazgo y muchos de los artículos referentes a la tabla periódica lo destacan una y otra vez (Courtines, 1925; Monroe y Turner; 1926; Ebel, 1938; Luder, 1939; Luder, 1943; Babor, 1944; Emerson, 1944; Wagner y Simmons Booth, 1945; Szabo y Lakatos, 1957; Fernelius, 1986).

En 1928 (p.25), Conant escribía:

“Las nuevas física y química de muchas maneras están centradas alrededor de la tabla periódica. En vez de asignar a cada elemento una posición en virtud de su peso atómico, ahora utilizamos los resultados de los Rayos X para ordenarlos de acuerdo a su número atómico. [...] Las series de acuerdo al número atómico coinciden exactamente con las anteriores, excepto porque el telurio y el yodo, el argón y el potasio y el cobalto y el níquel ya no están invertidos, sí no que quedan en el lugar correcto. Las propiedades químicas de los elementos son una función periódica de sus posiciones en una serie determinada por su espectro de Rayos X. A diferencia de la ley periódica anterior basada en los pesos atómicos, esta es exacta. El número del correspondiente a la posición del elemento en las nuevas series es llamado número atómico. La nueva ley periódica debe formularse entonces como: Las propiedades químicas de los elementos son una función periódica de sus números atómicos.”

En su serie de tres artículos sobre el sistema periódico y la estructura atómica, Wiswesser, (1945) ratifica lo manifestado anteriormente y afirma que la mecánica de ondas es una herramienta básica para la comprensión de la materia. Asevera que provee la única explicación lógica para: (1) la interacción materia-energía, (2) estructura atómica, (3) el sistema periódico, (4) estructura de valencia y estructura molecular, (5) la causa de la acción química, la estabilidad o la inestabilidad y (6) la naturaleza del cambio químico, defendiendo así la presentación del sistema periódico a través de la mecánica cuántica y no por “*histórico o empírico camino de los pesos atómicos*”.

Efectivamente, como indica Wiswesser en su segundo artículo (1945b), la mecánica ondulatoria permitió explicar ciertos fenómenos, como el aparente desorden en el llenado de los orbitales a partir del tercer nivel de energía. Sobre este particular Hazlehurst (1941) basado en la revisión de nueve textos universitarios publicados entre 1937 y 1941, había criticado que algunas preguntas como “¿por qué cuando se llega a los metales de transición se colocan electrones en una capa aparentemente llena? (Ej. $4s^2 3d^x$) ¿por qué los dos electrones en la capa n no “caen” a la capa $(n-1)$? Y si la tercera capa no está del todo llena, ¿por qué el argón es un gas inerte?” quedaban sin resolver.

Wiswesser explica el llenado de orbitales haciendo uso del orden creciente de $(n + l)$ lo cual justifica el llenado del orbital $4s$ (4, 0) antes del $3d$ (3, 2), y agrega:

“Quienes reconocen el profundo significado del sistema periódico pueden impresionarse por este método puramente físico y matemático de determinar su forma a partir de principios realmente básicos, que no requiere la memorización de un solo hecho químico.”

Sin embargo, puede decirse que a finales del siglo XX parece haber una tendencia a retomar la importancia de la tabla periódica como reflejo de una ley del comportamiento químico y no únicamente como una repetición ordenada de números (Izquierdo, 2002). En esta dirección y contraviniendo en algún modo los planteamientos de Wiswesser, Ludwig (1992) sostiene que “lo más cercanos que nos mantengamos de la tabla, lo más cerca que estaremos de la química...” y que las reglas de $(n + l)$ son más numerología que química, pues la razón de que el $4s$ se llene antes del $3d$ es porque el potasio se parece más al sodio que el escandio. Tanto él como Strong (1986) y Mabrouk (2003) aseguran que el mejor método mnemotécnico para aprender el principio de aufbau y recordar las configuraciones electrónicas es la tabla periódica misma y concluye diciendo:

“Usar la tabla periódica exclusivamente para racionalizar la distribución electrónica tiene la ventaja de enfatizar en los aspectos experimentales de la ciencia y evitar dar la impresión de que la química es nada más que un conjunto de reglas misteriosas.”

Como dice Pauling en la décima edición de su libro *Química General*, (1980):

“Estas configuraciones electrónicas están basadas en la teoría y para ser consideradas útiles o válidas, deben evidenciarse de alguna manera. Uno de los más fuertes apoyos para la asignación de configuraciones electrónicas es la tabla periódica misma. Se debe recordar que, al elaborar la tabla

periódica actual, los elementos fueron acomodados uno tras otro en grupos, debido a sus propiedades semejantes.”

Estas reflexiones nos llevan a reforzar nuestra posición acerca del importantísimo papel de la tabla periódica dentro la química y de su enseñanza. Como acabamos de señalar, la tabla periódica sirvió de base a las investigaciones que originaron el establecimiento y desarrollo de la teoría atómica moderna con un conocimiento cada vez más profundo del átomo y de su estructura y ahora es retomada como el mejor instrumento para explicar esa misma configuración.

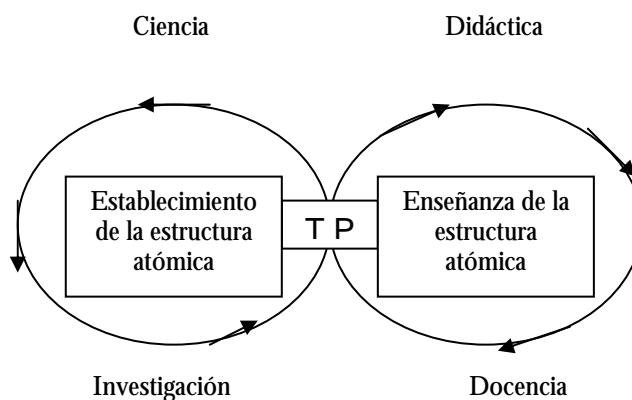


Figura 1

En cuanto a la búsqueda de un sistema ordenador mejor que el de Mendeleiev, en la primera edición de su libro *Principios*, correspondiente a la sexta rusa, él ya comenta sobre otros siete sistemas propuestos recientemente. Desde entonces, como se verá en la revisión del *Journal of Chemical Education*, los químicos no han dejado de proponer nuevos formatos para ordenar los elementos, aunque sin encontrar ninguno que mejore el basado en el de Mendeleiev (Mazurs, 1974).

De otra parte, con respecto al concepto elemento, algunos libros de texto publicados pocos años después del de Mendeleiev seguían definiéndolo como sustancia, tal como se verá en la revisión hecha en esta investigación, y como afirmaba Davey (1927):

“Toda la teoría química que se encuentra en nuestros libros de texto está basada en la suposición de que el universo material está compuesto por un número limitado de sustancias elementales llamadas

‘elementos’ y que estos ‘elementos’ están compuestos por unas partículas diminutas llamadas ‘átomos’, cada uno de los cuales trata de mantener su identidad bajo todas las condiciones ordinarias de presión y temperatura, incluso cuando se encuentran en contacto íntimo como otros ‘átomos’ de otros ‘elementos’...”

En 1937 Menshutkin, publicó un artículo en el JCE, bajo el título de “Historical Development of the Conception of Chemical Elements”. De acuerdo con Menshutkin:

“...los elementos químicos (1) no se deben descomponer químicamente en sustancias más simples y (2) deben hacer parte de una sustancia dada.[...] Las sustancias simples cumplen sólo con una de las condiciones de Lavoisier: no se pueden descomponer en otras más simples pero no están contenidas en ninguna sustancia compuesta.”

Más adelante, el autor continúa su explicación y refiriéndose a los “principios” de Fourcroy, añade:

“Voy a mantener las dos palabras “principio” y “sustancia simple” para distinguir las dos concepciones. No hay duda de que los “principios” son los verdaderos elementos químicos ya que no se pueden descomponer químicamente y son los componentes últimos de los cuerpos simple y compuestos, así que satisfacen la definición de elemento químico.”

Para cerrar esta discusión el autor retoma el trabajo de Mendeleiev y concluye:

“Casi todos los químicos, hasta hoy, confunden los principios con las sustancias simples, designando ambos con el mismo término ‘elemento químico’. En el primer congreso de química, en 1860, pareció como si la mayoría considerara el ‘principio’ como elemento químico y el trabajo de Mendeleiev marcó las diferencias entre las sustancias químicas y los principios y mantuvo a estos últimos como elementos químicos. Su sistema periódico es entonces un sistema de principios, no de sustancias simples.”

Basado en las resoluciones de la International Union de 1923, Menshutkin (1937, p.61) definió elemento de la siguiente manera:

“Cada grupo de átomos y sus iones, todos con el mismo número atómico, forman un “agregado”, una “colección”. Cada uno de ellos es un elemento químico, que se puede definir así: un elemento químico es un principio cuyos átomos e iones tienen el mismo número atómico.”

En este mismo sentido, en comunicación personal con el doctor Agustín Adúriz-Bravo, me comentó sobre una analogía útil para distinguir entre elemento, átomo y sustancia simple y es aquella que consiste en compararlos, respectivamente, con especie, individuo y población en biología. Así, el elemento carbono constituye la “especie” · carbono, un átomo

de ^{12}C sería un “individuo” de esa especie, como también lo es uno de ^{14}C y el diamante o el grafito serían una “población” de esos individuos, ya que una misma sustancia simple puede estar constituida por más de un isótopo. Lo único que tienen en común todos esos “individuos” es su número atómico, que en este caso corresponde a seis protones en su núcleo. Para Enduran y Scerri (2002), el elemento es un concepto de clase, como lo son “ácido” o “sal” que ayudan a los químicos a clasificar nuevas sustancias de manera similar como la biología se dedica a clasificar organismos.

No obstante, hoy en día las diferentes definiciones de **elemento** siguen siendo utilizadas indiscriminadamente por profesores y textos de Química (Bullejos et al., 1995; Alvadalejo et al., 1981; Roundy, 1989; Bensaude-Vincent, 1994b; Thibault et al. 1994) sin tener en cuenta que un mismo **elemento** puede presentarse como varios isótopos, de modo que todos los **átomos** de ese **elemento** no son necesariamente idénticos, con lo cual la definición de Dalton queda fuera de lugar. Y, por otra parte, el protio y el deuterio pueden separarse en una mezcla de agua y agua pesada por electrólisis, que es un proceso químico (Roundy, 1989), lo que hace que la definición de Boyle y la de Lavoisier también se invaliden.

Podemos agregar a esto la confusión que aún subsiste entre **elemento** y **sustancia simple** o **cuerpo simple**, a pesar de la aclaración hecha hace más de un siglo por Mendeleiev, y en un mismo recuadro de la tabla periódica se incluyen propiedades de uno y otra, por ejemplo el número atómico del **elemento** y la temperatura de fusión de la **sustancia simple**.

Al respecto, Thibault et al. (1994, p.57), manifiestan que la IUPAC, en su sección de nomenclatura de química inorgánica en 1990, buscando aclarar esta situación, planteó que:

“Este capítulo concierne con uno de los formalismos básicos de la química, la representación de los elementos mediante símbolos. Generalmente, no se hace distinción entre un elemento y una sustancia elemental en los países de habla inglesa. Sin embargo, algunos consideran al primero como una abstracción mientras que la segunda es, indudablemente, una forma de materia. A menudo no está claramente indicado si un símbolo representa un átomo o un elemento. Fue considerablemente difícil obtener definiciones que satisficieran todos los requisitos. Las definiciones que se presentan aquí pretenden ser útiles y ampliamente aplicables, aún si algunas veces pueden ser criticadas desde un punto filosófico”.

Y las definiciones que proponen son las siguientes:

*“**Elemento:** un elemento (o sustancia elemental) es materia, cuyos átomos son todos iguales en cuanto a que poseen la misma carga positiva en su núcleo. **Átomo:** un átomo es la cantidad unitaria más pequeña de un elemento capaz de existir sola o en combinación química con otros átomos del mismo o de otro elemento”.*

Por su parte, Bullejos et al. (1995) manifiestan que:

*“La **sustancia simple** es un sistema que posee un conjunto de propiedades características, tales como punto de fusión, ebullición, densidad, etc., mientras que el **elemento** es una clase de átomos de los que suponemos, según la teoría atómica, que están compuestas las sustancias. Los **elementos** no poseen propiedades características como las sustancias. [...] En los cambios químicos se conservan los **elementos**, esto es, los átomos, pero no se conservan las **sustancias simples**”.*

Como puede observarse, encontramos nuevamente dos posiciones contradictorias con respecto al concepto elemento, ya que mientras las definiciones de la IUPAC asimilan el concepto elemento al de sustancia, Bullejos et al.(1995) lo hacen al de átomo, en el mismo sentido de Mendeleiev.

Los libros de texto, por su parte, presentan indistintamente las definiciones de Boyle, de Dalton y de Moseley, aunque, como mostró la revisión en este trabajo, prefieren la definición de elemento como sustancia por encima de todas las otras.

Así, encontramos ejemplos como:

“Un elemento es una clase de materia que consta de átomos cuyos núcleos tienen todos la misma carga eléctrica.[...] Una sustancia elemental es la formada exclusivamente por átomos de un solo elemento y normalmente se da el nombre de elemento a tal sustancia”. Pauling, L. (1980), Química General, Madrid, Aguilar, 10ª edición, 1ª reimpresión

Otros que definen elemento en función de sus isótopos:

“Todos los núclidos con una determinada carga nuclear pertenecen al mismo lugar (casilla) del sistema y constituyen, en conjunto, un elemento”. Christen, H.R. (1977), Fundamentos de la química general e inorgánica, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición.

Estos núclidos ocupantes de una misma casilla de la tabla periódica, que tienen las mismas propiedades químicas pero que se diferencian en su peso atómico y en la estabilidad de su

núcleo, a que hace referencia esta definición, fueron denominados “isótopos” (que están en un mismo sitio), por Soddy en 1913. (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997)

Por otro lado, el Diccionario de Química (Hampel, C.A. y Hawley, G.G., 1986), define un elemento como:

“Principio químico común a las diversas variedades de un cuerpo simple. El diamante y el grafito tienen en común el elemento carbono. [...] La cantidad mas pequeña de un elemento que puede existir es el átomo...”

Mientras que en el Diccionario de química y productos químicos (Hawley, G. 1985), se lee la siguiente definición:

“Una de las 105 clases de sustancias conocidas actualmente que comprenden toda la materia a nivel atómico y por encima de este nivel...”

Llama la atención que un mismo autor, Gessner G. Hawley, utilice dos definiciones diferentes y, en cierto modo contradictorias, en dos libros especializados de Química, como los son estos dos diccionarios, con tan solo un año de diferencia en su publicación. Esta situación pone de manifiesto que inclusive para los expertos el concepto de elemento conserva ciertos rasgos de ambigüedad. Además, resulta curioso que estos diccionarios de Química, con casi veinte años de antigüedad, son los más recientes que se encuentran disponibles para ser consultados en la biblioteca de Humanidades de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Ahora bien, no sólo los profesores, los libros de texto y la literatura científica presentan esta polisemia del concepto elemento. También las páginas web, tan utilizadas en la actualidad por estudiantes, docentes y público en general, ofrecen una fuente más de confusión (Ver anexo 1). A modo de ejemplo, podemos observar algunas definiciones obtenidas a través de internet:

<http://www.codelco.com/educa/divisiones/norte/estudio/naturales4.html>

Modelo atómico y elemento químico

Toda la **materia** (sustancias químicas) presente en el universo está formada por átomos que son las unidades mínimas o básicas. Existen sólo 110 tipos de **átomos** en el universo, pero muchísimas más sustancias químicas. Esto se explica porque la materia puede estar formada por combinaciones de estos átomos y estas combinaciones en proporciones distintas.

Cuando una sustancia química está formada por un solo tipo de átomo se llama **elemento químico**. El cobre es un elemento químico, ya que está formado por un tipo de átomo, presentando características y propiedades únicas y de mucho interés comercial, de ahí su valor económico y el interés por obtenerlo. Sin embargo, el cobre se encuentra en la naturaleza asociado a otros elementos químicos como el oxígeno, azufre, etc., los cuales presentan otras características distintas al cobre. En Radomiro Tomic, a través del proceso de **lixiviación** y de **electroobtención**, se obtiene y luego purifica el elemento químico "cobre" de sus elementos asociados.

Elemento químico

Un elemento químico es una sustancia química formada por un tipo de átomo, lo cual la hace tener características físicas y químicas particulares. En la naturaleza se han descubierto aproximadamente 110 elementos químicos diferentes, y por lo tanto, 110 átomos distintos

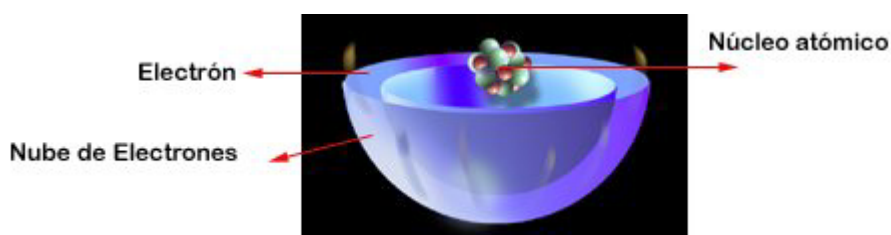


Es interesante observar en este gráfico que el símbolo químico está asociado directamente al átomo, aunque en la definición escrita en la misma página lo refiere al elemento: “El símbolo químico de un elemento es la representación gráfica y abreviada de su nombre”, con lo cual se

introduce un nuevo factor de confusión, tal como lo reconoce la IUPAC (Thibault et al., 1994).

Átomo

Un átomo es la mínima partícula que forma la materia y que presenta las características y propiedades del elemento a quien conforma. El átomo está formado por partículas más pequeñas que le proporcionan la masa y la carga eléctrica, aunque en condiciones normales el átomo es eléctricamente neutro, ya que tiene igual cantidad de cargas positivas y negativas. Cada átomo tiene un número atómico (Z) propio, que corresponde al número de protones y por tanto también al de electrones. También cada átomo posee un número másico (A) particular, que corresponde a la suma del número de protones y de neutrones.



Símbolo químico

El símbolo químico de un elemento es la representación gráfica y abreviada de su nombre. Los símbolos se escriben con una o dos letras, dependiendo del elemento del cual se trate. Ejemplo: Cobre (Cu), Nitrógeno (N), Oxígeno (O), Carbono (C) etc.

Todo lo anterior pone en evidencia que, a pesar de los esfuerzos realizados a lo largo de los siglos por la comunidad química internacional, no ha sido posible unificar el lenguaje científico y se siguen utilizando las mismas palabras y símbolos para referirse a entidades y conceptos diferentes.

Esta polisemia puede deberse a que la química, como otras ciencias, posee más de un lenguaje (Pacault, 1994) que describen objetos en escalas espaciales muy diferentes. Pacault propone que podríamos llamar microlenguaje a aquel que se refiere a descripciones microscópicas, como por ejemplo las utilizadas para definir átomo, núcleo, número atómico (como número de cargas positivas en el núcleo) y otros objetos similares de dimensión del orden de 10^{-10} m. Y macrolenguaje al que está relacionado con las descripciones macroscópicas como cuerpo simple o cuerpo compuesto.

El macrolenguaje está basado en el microlenguaje y la palabra átomo es la clave para definir todos los otros términos. Curiosamente, el concepto elemento químico no aparece como ejemplo en ninguno de los dos casos, razón por la cual el autor sugiere que podría perder

importancia en el lenguaje químico, aunque por lo general, los niveles de descripción se mezclan y el concepto elemento, como hemos visto, oscila entre átomo y cuerpo simple.

Históricamente, el elemento químico ha tenido una descripción macroscópica, que lo confunde con la sustancia simple, que no puede descomponerse en otras. Con el conocimiento que ahora se tiene sobre el átomo, es posible traducir la palabra elemento del macrolenguaje al microlenguaje a través de la siguiente definición: “*Un elemento es un conjunto microscópico de átomos del mismo Z sin interacción*”, retomando la definición de la IUPAC de 1923 (Menschutkin, 1937, p.61).

La tabla periódica de Mendeleiev estuvo basada en dos criterios macroscópicos propios de los cuerpos simples: el comportamiento químico, que dio lugar a sus columnas y la masa del elemento, que originó sus filas. Aunque Mendeleiev tenía la idea de átomo, su clasificación fue escrita en macrolenguaje.

Actualmente, la misma tabla periódica 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 el número de elementos en cada periodo. Esta mezcla de lenguajes es una fuente de confusión.

Usando únicamente el microlenguaje, los criterios de clasificación serían, la distribución electrónica de los átomos y particularmente de la capa de valencia, para las columnas y el número atómico, para los periodos. Pero en este caso, la clasificación periódica sería de átomos y no de elementos. Para traducirlo al macrolenguaje, habría que reemplazar “átomo” por “una colección de átomos del mismo Z y eventualmente de masas diferentes” (teniendo en cuenta los distintos isótopos) o, simplemente, reemplazar átomo por elemento, si se acepta la definición de elemento dada anteriormente. El segundo criterio, del número atómico, es fundamentalmente microscópico y sólo podría cambiarse por “el número del puesto correspondiente en la periodicidad generada por el primer criterio”. Y así se llega a una clasificación muy parecida a la de Mendeleiev en la cual, gracias al átomo, el elemento tiene una definición precisa.

En los albores del siglo XXI, todo parece indicar que el concepto elemento sigue siendo tan controvertido como lo ha sido a lo largo de toda su historia. De modo que, actualmente, es posible encontrar tanto a quienes como Pacault (1994), consideran que está “inútilmente encumbrado” y que la química bien podría prescindir de él, como a quienes como Bensaude-Vincent citada por el mismo Pacault, lo consideran el incuestionable puente de unión entre lo microscópico – el átomo- y lo macroscópico – los cuerpos simples y compuestos- que *“parece definir muy exactamente la posición de la química en medio de las ciencias de la materia”*.

De todas estas definiciones, nos adherimos a la de la analogía de especie biológica, según la cual 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. De alguna manera, esta definición está íntimamente relacionada con lo planteado por Bensaude-Vincent.

Sin embargo, para que los conceptos químicos tengan sentido, tienen que poderse usar en la práctica (Izquierdo, 2003a), no basta con hablar de ellos, hay que hacer algo con ellos.

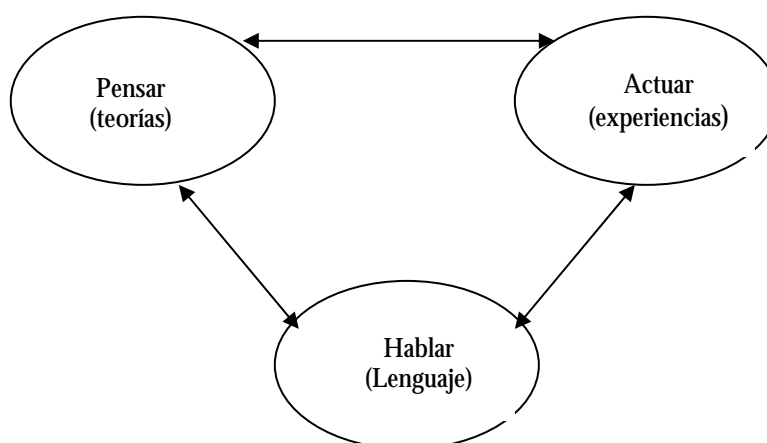


Figura 2

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.

2. Los libros de texto de Química

A pesar de que esta investigación no pretende hacer un análisis profundo de los libros de texto, la revisión realizada con casi una treintena de libros de química general nos ofreció un panorama de lo que puede encontrarse sobre tabla periódica y propiedades periódicas en esta importante fuente de conocimiento. Por esta razón, dedicamos unos párrafos al soporte teórico de este aspecto de nuestro trabajo.

2.1. Introducción

Los libros de texto son, indiscutiblemente, uno de los principales medios de comunicación en el proceso de enseñanza aprendizaje. Sin embargo, en la historia de las ciencias, las investigaciones sobre los libros de texto científicos no suelen ser muy llamativas. Esto se debe principalmente a dos razones.

En primer lugar, porque las innovaciones, desarrollos y descubrimientos que van construyendo el conocimiento científico, tarda mucho en llegar a sus páginas (Bouma, 1989). Este hecho era ya criticado por Huggins en 1926 (p.1110) cuando afirmaba que:

“Muy pocos profesores de los cursos de química general han tenido la oportunidad de estar al tanto de los desarrollos recientes en el campo de estructuras atómicas, moleculares y cristalinas. Que el profesor posea un conocimiento acerca de tales desarrollos es de primordial importancia, tanto para poder darle a sus alumnos un punto de vista actualizado sobre estos temas como para prevenirse de enseñar cosas que ya se saben que son incorrectas.”

Por su parte, en 1939 Foster retomaba la idea de la necesidad de mantener los libros de texto actualizados y la importancia de enseñar la tabla periódica tanto en la secundaria como en la universidad. Al respecto escribía que:

“Hasta que los autores de los libros de secundaria y de universidad no acepten la tabla periódica moderna, los lectores seguirán confundidos y limitados en sus pensamientos sobre la periodicidad de las propiedades físicas y químicas. La ley periódica, una de las mayores generalizaciones de la ciencia, debe

ser uno de los tópicos principales, pero sólo introduciéndola a través de su relación con la estructura atómica puede volverse vital y estimulante para los estudiantes.”

Y concluía diciendo que:

“Inevitablemente debe haber un lapso de tiempo entre el anuncio de los avances científicos y su incorporación a los cursos elementales, pero es desafortunado cuando el vacío se debe a la inercia de los autores de los libros de texto y no a las dificultades inherentes a los conceptos.”

Sin embargo, hay quienes consideran que leer un libro de texto de una época en particular es el mejor modo de apreciar el estado de las teorías científicas en ese momento, ya que si bien es cierto que la ciencia de frontera se encuentra en la literatura científica especializada, los libros de texto reflejan el conocimiento consensuado de un período (Brooke, 2000).

En segundo lugar, porque, en general, los libros de texto no se destacan por transmitir ni la información, ni el entusiasmo de la mejor manera (Brooke, 2000). Los de ciencias, en particular, suelen ser tildados de aburridos, dogmáticos o conservadores, aunque puedan ser útiles para acercarse un poco a una determinada “ciencia normal” correspondiente a un período dado (Bensaude-Vincent y Lundgreen, 2000). No obstante, según Izquierdo, citada por Brooke (2000), un libro puede estar diseñado principalmente para preparar a los estudiantes para los exámenes, pero también puede aspirar a enseñar la ciencia de una forma emocionante e innovadora que capte su atención.

Los que hoy llamamos libros de texto científicos se pusieron de moda en Europa a mediados del Siglo XIX. Estos libros con claros fines didácticos empezaron a diferenciarse tanto de los trabajos de divulgación como de los tratados avanzados que los químicos, académicos y profesionales, intercambiaban entre sí. De acuerdo con lo encontrado en los libros de textos franceses por Bertomeu y García, citados por Brooke (2000), esta nueva literatura tenía tres características: Generalmente: 1) el autor era un intermediario, que organizaba y simplificaba de una manera conciente el conocimiento científico que aparecía en las revistas químicas, 2) el contenido reflejaba el consenso general y dejaba poco espacio para las hipótesis controvertidas y 3) se eliminaba al máximo el lenguaje técnico de los tratados avanzados.

Los libros de texto reflejan posiciones epistemológicas, ideologías políticas, visiones personales (los primeros libros de química en España fueron escritos por militares, religiosos, físicos, cirujanos, boticarios y arquitectos), interpretaciones de los traductores en versiones internacionales e intereses comerciales. Pero también representan el esfuerzo de sus autores por mostrar, a su manera, cómo se han ido entretejiendo las distintas disciplinas del saber y cómo se han ido negociando sus semejanzas y diferencias; plasman su intención de reorganizar el conocimiento con fines didácticos motivando muchas veces procesos de reflexión entre los profesores e incentivando la investigación tanto en ciencias como en didáctica (Brooke, 2000).

Pese a todos sus inconvenientes y debilidades, hemos de pensar que los libros de texto han cumplido y siguen cumpliendo una valiosa función dentro del proceso educativo. Como plantea Giere (1992, p.86):

“¿Habría que decir que, por lo general, los autores de libros de texto científicos muy usados no entienden realmente su materia? De ser así, la mayoría de los científicos no entienden en realidad su materia puesto que fue ahí donde aprendieron casi todo lo que saben. Tal punto de vista, si no es sencillamente absurdo, resulta cuanto menos arrogante.”

2.2. Estilos narrativos

Los libros de texto, además, cumplen la función de servir de mediadores, a través de la palabra escrita, entre el conocimiento científico y el sentido común. En el caso de la química, deben explicar, por ejemplo, cómo las sustancias que hacen parte de nuestra vida cotidiana se transforman en entidades químicas estables. Para hacerlo, los autores se sirven de distintos estilos, en gran parte influenciados por todos los factores mencionados en el párrafo anterior. Aunque no siempre el estilo se mantiene a todo lo largo del texto, suele haber uno que predomina y lo caracteriza.

Para explicar los estilos narrativos frecuentemente encontrados en los libros de texto de química, podemos basarnos en el análisis que realiza Izquierdo (2000a) en tres textos franceses de mitad del Siglo XIX en los que identifica una “retórica del agua”. La autora escoge este tema debido a que todo el mundo tiene algún conocimiento empírico sobre el

agua, el agua ocupa un lugar privilegiado en la química por ser el solvente más comúnmente utilizado y finalmente, porque históricamente el agua jugó un papel central en la construcción de la química moderna en los experimentos de Antoine Lavoisier.

La narrativa dogmática

El libro base para explicar la narrativa dogmática o apodíctica es el *Cours de chimie générale*, publicado por Théophile Jules Pelouze y Edmond Frémy entre 1848 y 1849, en cuatro volúmenes. Desde su introducción queda clara la intención de los autores en cuanto a que su libro pretende ayudar a los estudiantes pregraduados a consolidar, expandir y recordar lo que han aprendido en las clases. Los contenidos y la secuencia están hechos de acuerdo al programa oficial y no tiene discusión. Igualmente se nota su preferencia por el método inductivo, supuestamente más apropiado para la pedagogía. Todo lo que hay en el libro podría ser corroborado experimentalmente. Sobresalen las propiedades físicas y químicas de las sustancias simples y compuestas, sus obtenciones y usos.

En lo que concierne al agua, la introducción histórica es muy suscita y prescinde de cualquier tipo de contextualización. Los experimentos son descritos de la manera más breve y concentrada y todo el tiempo se escribe en forma impersonal. En ningún caso se explica lo que está pasando durante el experimento ni como tal experiencia puede probar algo en particular.

Posteriormente se refieren a los tres estados en que se puede encontrar el agua e incluye tablas con sus propiedades físicas. Finalmente, hacen alguna anotación sobre las aguas de París, tabulando la composición del agua del Sena, del canal Ourcq y del mar. Este es el único acercamiento a la vida cotidiana.

Todo parece indicar que lo único importante del agua es “su masa”, lo que se pueda cuantificar, o pesar. El axioma de la conservación de la masa es la base de esta aproximación, pero nunca se explicita. El mensaje que deja este libro es que el agua real es, de hecho, su fórmula HO. Una sustancia real es transformada en una fórmula escrita.

En síntesis, esta narrativa que presenta la “ciencia normal” en forma anónima, pretende convencer al lector que los químicos trabajan con exactitud y pureza. Lo lleva a aprender fórmulas y recordar ciertos hechos como verdades inamovibles, pero sin relacionarlos con la vida real. Por tanto, en este caso, el agua se muestra como “un hecho científico”, conciso y preciso pero que nada tiene que ver con la transformación del mundo real.

La duda retórica

El ejemplo de narrativa basado en la duda retórica o en la retórica de la duda, lo constituye el *Méthode de chimie*, de Auguste Laurent, publicado unos años después que el anterior. En él, Laurent enfatiza la falta de consenso, las inconsistencias, las arbitrariedades y la incertidumbre que existe acerca de la fórmula correcta del agua. Su propósito es convencer al lector que hasta que no se reconstruya todo el sistema de las reacciones químicas, será imposible determinar tal fórmula. Todas las fórmulas y ecuaciones químicas tendrían su origen en la elección que él hace de la fórmula del agua como H_2O . Según el autor, esta fórmula abrió el camino de la nueva química.

A diferencia del anterior, este libro aclara desde su introducción que su interés está dirigido a “aspectos generales y leyes”, no a “hechos”. Y puesto que su intención es llegar a un sistema general, no se ocupa de las propiedades de sustancias individuales, como hacían Pelouze y Frémy. Sin embargo, a pesar de que su énfasis radica en el lenguaje de la química y no en la construcción de “hechos científicos”, a veces corrobora sus afirmaciones en “hechos científicos”. Al igual que Lavoisier, buscaba un sistema coherente de fórmulas que representara las propiedades de las sustancias, que fuera inferido de los hechos, no ligado a una hipótesis teórica.

En este caso, el agua era utilizada para mostrar la confusión de las fórmulas químicas. Mientras Pelouze y Frémy daban por cierta la fórmula HO, Laurent siembra la duda mostrando las distintas fórmulas con que la misma sustancia era representada (HO, H_2O , H_2O_2). Siguiendo el discurso de Descartes, Laurent escribe de forma personal para convencer al lector de que adopte un nuevo sistema y con frecuencia presenta las ventajas y desventajas de los distintos planteamientos. Cuando critica a otros, lo hace de la forma más

objetiva posible, como si realmente tuviera dudas y quisiera hallar la verdad, invitando al lector a hacer lo propio. Otras veces su discurso adquiere un tono polémico. La fórmula del agua se transforma en un recurso retórico para que la comunidad química acepte las ideas de Laurent.

Según Izquierdo (2000a), la omnipresencia del agua en la química le permite jugar el papel de guía taxonómica de los compuestos orgánicos. En contraste con la narrativa dogmática, que considera el agua como una entidad abstracta resumida en una fórmula, la de Laurent la considera una sustancia real, que participa de las reacciones químicas.

El estilo magistral

El tercer libro utilizado por Izquierdo para explicar los estilos narrativos es el *Précis de chimie organique* de Charles Gerhardt. Este texto combina la empresa creativa de Laurent con una perspectiva pedagógica, situándose entre los dos estilos anteriormente ejemplarizados. Sin embargo, sobresale su propósito educativo en cuanto que se nota el esfuerzo del autor por construir una disciplina enseñable de una forma sistemática. La estructura del libro es muy similar a la de los tratados, comenzando por las nociones preliminares y temas generales.

En primer lugar, el agua aparece desde el principio haciendo parte de los ciclos de la naturaleza., como un elemento esencial de la vida. Explica que su importancia en la actividad fisiológica está asociada a su combinación de hidrógeno y oxígeno. Además, el agua es explicada desde el punto de vista químico en función de la afinidad del oxígeno por el hidrógeno, refiriéndose así a las fuerzas químicas. De esta manera, el agua ejemplifica dos fuerzas que actúan en la materia, la fuerza vital y la afinidad química.

En segundo lugar, el agua es utilizada por Gerhardt para la clasificación de los compuestos orgánicos mediante degradaciones de distintas sustancias orgánicas por eliminaciones sucesivas de carbono e hidrógeno. El número de aguas formadas fue la clave de este trabajo.

Así, en el *Précis* de Gerhardt el agua comienza siendo un ingrediente vital de una imagen tradicional y conocida, y termina promocionada a un agua virtual, reducida a la abstracción de una relación.

En resumen, de lo analizado por Izquierdo (2000a) se puede observar que cada uno de los estilos narrativos pone de manifiesto las intenciones de cada autor. Algunas características propias de cada estilo aún perduran en los libros de texto.

El estilo dogmático, a pesar de ser aparentemente descriptivo, lo que busca es codificar en una serie de fórmulas un conocimiento que puede ser aprendido de memoria. El estudio de las propiedades tangibles de las sustancias son opacadas en aras de la construcción de una entidad científica “pura”. En el libro de Pelouze y Frémy, por ejemplo, todo indica que el “agua” de la fórmula no tiene nada que ver con el “agua” del Sena.

El método de la duda cartesiana da lugar a un texto aparentemente metodológico, aunque en realidad es, en esencia, polémico. Esta narrativa se sigue utilizando como recurso didáctico en la literatura científica. En el libro de Laurent la fórmula del agua es el punto de partida de una aventura intelectual que concluirá en la propuesta de una clasificación de los compuestos orgánicos.

En el caso de Gerhardt, su narrativa magistral ofrece una exposición coherente de sus resultados, constituyéndose en un puente entre la visión antigua de la química orgánica y la nueva química emergente de los compuestos de carbono. En su texto dos nociones científicas del agua dan lugar a la redefinición de la disciplina de la química orgánica.

Tanto Laurent como Gerhardt transforman una sustancia química en un paradigma, convirtiendo al agua en un instrumento clasificador. Hoy en día, algunos textos parecen abusar de este procedimiento de abstracción, y la conclusión resulta ininteligible pues resulta muy difícil encontrar las relaciones con el paradigma.

Sobre este particular, en el estudio realizado por Justi y Gilbert (2002) referente a los textos de química, lo primero que sale a flote es que estos libros presentan la ciencia como una

colección de verdades o hechos definitivos y una serie de ecuaciones matemáticas. De ese modo el desarrollo histórico del conocimiento científico queda excluido de ellos. Los libros de química a los que se refieren los investigadores ni siquiera discuten la palabra *modelo*. De otra parte, los modelos que se encuentran en ellos suelen estar mezclados (Izquierdo, 2003a) y por tanto, terminan explicando propiedades, fenómenos o conceptos a partir de modelos que no corresponden, lo cual, según los autores, acaba por desmotivar a los estudiantes. Además, los modelos comúnmente utilizados son analogías incompletas, dibujos y diagramas cuyos objetivos no están especificados y poco contribuyen a la comprensión por parte de los lectores de lo que es un modelo.

2.3. De Mendeleiev a Pauling en los libros de Química

La tabla periódica nació en un libro de Química General para facilitar el aprendizaje y la comprensión de la Química. El libro *Principios de Química* de Dimitri Mendeleiev fue escrito para ser enseñado en la universidad y su elaboración, capítulo a capítulo, concluyó en la ley periódica, detallada en ocho puntos, que Dimitri Mendeleiev sintetizó en su tabla periódica de los elementos químicos.

El 1 de marzo de 1869, 17 de febrero en el antiguo calendario ruso, se hizo público el “Ensayo sobre un sistema de los elementos según sus pesos atómicos y funciones químicas” y el 6 de marzo N. Menchutkin presentó ante la Sociedad Química Rusa el informe de Mendeleiev titulado: “Relación entre las propiedades y los pesos atómicos de los elementos” publicado en el Diario de la Sociedad Química Rusa (1869, año 1º, vol II y III, pp.60 – 77) (Kolodkine, 1963).

No hay duda de que la ley periódica de Mendeleiev es uno de los más grandes temas organizadores de la ciencia (Singman, 1984). 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.



Figura 3

El trabajo de Mendeleiev de sintetizar en una inscripción toda una cantidad de información obtenida tras años de observación constituye un ejemplo de lo que Izquierdo (2002) plantea sobre el lenguaje propio de las ciencias. Este lenguaje, afirma Izquierdo, hace posible que los experimentos pasen a formar parte de los textos de ciencias y contribuyan a proporcionar 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, añade Izquierdo, de que con ellas se hacen visibles regularidades muy abstractas y difíciles de mostrar de cualquier otra manera a los lectores. Sin embargo, es posible que el lector atribuya a la inscripción un significado diferente al que le corresponde de acuerdo con las intenciones del autor, y en ese caso, ella misma pasa a ser el referente del texto, desplazando al fenómeno del cual éste estaba hablando. Como concluye la autora:

“...parece como si las inscripciones adquirieran vida propia y, una vez aparecen en los textos, se independizaran de su autor y escapan a su control, pasando a ser lo que las nuevas audiencias deciden hacer con ellas.”

A lo largo de más de un siglo, la tabla periódica se ha constituido en el punto de intersección entre la investigación y la enseñanza de la química. Por un lado, las investigaciones científicas han llevado al descubrimiento y la obtención de 112 elementos

proveyendo además toda la sustentación teórica de su organización, y por otro, su enseñanza ha motivado nuevas propuestas para la transposición de tal conocimiento (Albaladejo et al. 1982; Goth, 1986; Brincones y García,1987; Garrigós et al., 1987; Goh y Chia, 1989; Bensaude-Vincent, 1994; Cherif et al.,1997; Ben-Zvi y Genut, 1998; Dreyfys, 2000; Yin y Ochs, 2001), generando un enriquecimiento continuo tanto en su contenido como en su utilidad.

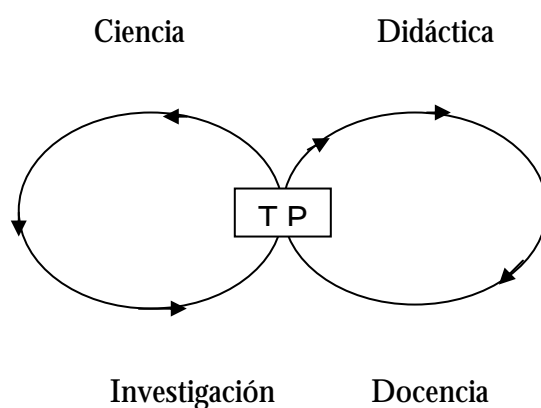


Figura 4

Los nuevos descubrimientos sobre la estructura del átomo fueron modificando a su vez el sentido de la tabla periódica aunque, en esencia, su formato se conserve muy similar al original. Lo que comenzó como una ley general de comportamiento químico se fue convirtiendo en un sistema ordenador basado en “capas de electrones” y “electrones de valencia” (Izquierdo, 2002).

Como ya se comentó, cada año los nuevos avances en la dilucidación de la estructura del átomo y la actualización de la tabla periódica en base a los nuevos descubrimientos iban apareciendo en la literatura científica pero tardaban mucho en llegar a los libros de texto y a los salones de clase (Higgins, 1926; Foster, 1939; Campell, 1946).

Fue otro profesor universitario, Linus Pauling, quien marcó la nueva presentación de la estructura atómica y la tabla periódica en su libro *General Chemistry: an introduction to descriptive chemistry and modern chemical theory*, publicado en 1947 (Nye, 2000; Izquierdo, 2002).

Según Nye, Pauling se inspiró, desde sus años de estudiante universitario en 1919, en los trabajos de Irving Langmuir que lo llevaron, a su vez, a los de Gilbert Newton Lewis. Como nota al margen cabe resaltar el comentario de la autora sobre la sorpresa de Pauling, porque jamás había oído nada de esto en sus clases. Esto corrobora una vez más lo ya dicho acerca de lo mucho que tarda “el saber sabio” en convertirse en “saber enseñado”.

A lo largo de su formación tuvo la oportunidad de trabajar de cerca con personajes como Richard Chace Tolman, Robert Millikan, Paul Epstein, Arnold Sommerfeld, Niels Bohr y Erwin Schrödinger, entre otros.

Sus trabajos sobre los orbitales híbridos para la explicación del enlace hicieron parte de su libro *The Nature of the Chemical Bond* publicado en 1939, con el cual consolidó su ya ganada fama por su anterior libro *Introduction to Quantum Mechanics and Applications to Chemistry* publicado en 1935.

Pauling parece repetir un patrón observado en la didáctica de la química cada siglo: la inconformidad de un profesor con los libros de texto vigentes en su momento, que marca un hito en la historia. En el siglo XVIII, Lavoisier, en el XIX, Mendeleiev, en el XX, él.

El libro *Principios* de Mendeleiev fue innovador y radical y logró ordenar las propiedades de los elementos y compuestos químicos en base a una nueva y controvertida ley. La ley periódica fue valiosa porque proveyó un medio cuantitativo y predictivo para reconocer semejanzas y diferencias de los elementos químicos que permitió organizarlos exitosamente. Pero en realidad lo que Mendeleiev buscaba, al igual que otros de sus contemporáneos como Lothar Meyer o Wilhem Hoffmann, era la base para sistematizar la enseñanza de la química en el siglo XIX. Pauling quería seguir su ejemplo (Nye, 2000).

La mayoría de los libros de texto universitarios de los años 30 introducían la química desde un punto de vista histórico, lleno de héroes, presentando las leyes y los principios cronológicamente, mostrando cómo el conocimiento científico se iba acumulando a lo largo del tiempo. Pero Pauling pensaba que esto debía de cambiar y escribió (Nye, 2000, p.407):

“Ya sabemos que los átomos existen. [...] Toda la materia ordinaria está hecha de átomos... [...] Los argumentos que llevaron al desarrollo de la teoría atómica están basados en hechos químicos... [...] Durante el presente siglo los métodos de la física moderna han probado la evidencia de la existencia de los átomos”.

Pauling reconocía el valor de ofrecer a los estudiantes una visión histórica del desarrollo del conocimiento científico y de motivarlos por buscar las fuentes donde el saber se originó, pero además consideraba pedagógicamente valioso enseñar las teorías más recientes y una imaginaria concreta de átomos y moléculas.

Igual a lo que ocurrió con sus predecesores, la publicación de su *General Chemistry*, considerado un libro revolucionario, al principio despertó críticas y controversias, pero pronto se convirtió en un clásico y ha servido de ejemplo para un gran número de libros de texto desde entonces.

Respecto a la tabla periódica y la estructura de los átomos, en la décima edición de su libro *Química General*, (1980) Pauling afirma:

“Estas configuraciones electrónicas están basadas en la teoría y para ser consideradas útiles o válidas, deben evidenciarse de alguna manera. Uno de los más fuertes apoyos para la asignación de configuraciones electrónicas es la tabla periódica misma. Se debe recordar que, al elaborar la tabla periódica actual, los elementos fueron acomodados uno tras otro en grupos, debido a sus propiedades semejantes.”

Hoy en día, todos los libros de química universitaria incluyen la tabla periódica, ya sea dedicándole un capítulo particular, o dentro de otro capítulo. (Ver anexo 2, parrillas de revisión de los libros de Química General). Muchos, además, destacan su importancia en el aprendizaje de la química. Sin embargo, aunque la forma larga es la preferida por la mayoría (Sanderson, 1964), existe una gran confusión en la nomenclatura utilizada por los distintos autores (Fernelius y Powell, 1982), a pesar de que la IUPAC determinó su unificación desde 1984 (Loening, 1984).

De todas maneras, la importancia de la tabla periódica, tanto en la enseñanza como en la práctica de la química, es ampliamente reconocida por ser la fuente de información más sencilla y más distribuida en la química y en los campos relacionados (Fernelius y Powell,

1982). Como afirma Ferneliuss, (1986): *“la tabla periódica ayuda a disminuir la entropía del conocimiento”*.

3. Acerca de los profesores

Recordando nuestra pregunta inicial: “¿Qué quieren enseñar los profesores y profesoras cuando explican la tabla periódica en los cursos generales de Química?”, podemos observar que el eje central de nuestra investigación es el objeto de enseñanza tabla periódica. Sin embargo, para poder dar respuesta a nuestra pregunta necesitamos de la colaboración de un grupo de profesores dispuestos a compartir con nosotros su conocimiento sobre este tema en particular.

Consideramos que las opiniones emitidas por los participantes provienen de su conocimiento profesional, en cuanto hace referencia a la conjunción de distintos saberes adquiridos a lo largo de cada historia personal. No obstante, en nuestro trabajo no entraremos en discusiones acerca de este conocimiento en sí, aunque reconocemos su innegable importancia en los resultados que aquí se han obtenido.

3.1. Pensamiento y conocimiento del profesor

Desde hace muchos años el pensamiento de los profesores ha sido tema de múltiples investigaciones y proyectos en el mundo (Porlán y Rivero, 1998; Marcelo, 1987, 1989, 1992, 2002; Zohar, 2004). Esta vasta literatura destaca dos grandes propósitos en estos estudios. De una parte, se considera que el pensamiento y las creencias de los profesores tienen una fuerte influencia en su quehacer docente (Clark y Peterson, 1990), lo cual, inevitablemente, repercute en el aprendizaje de sus estudiantes. Por tanto, el estudio del pensamiento de los profesores contribuye a la comprensión de los procesos de aprendizaje e instrucción que ocurren en el aula. El segundo bloque de investigaciones tiene que ver con la formación de los profesores, tanto a nivel inicial para futuros profesores, como la formación permanente de quienes ya se están desempeñando como tales. En estas investigaciones también se observa la influencia del conocimiento, teorías y creencias que los profesores traen consigo.

Al respecto, Marcelo (2002) y Llinares (2000) postulan que la línea de investigación sobre el profesor ha evolucionado desde las perspectivas más cognitivas, es decir, del denominado Pensamiento del profesor cimentado en la Psicología Cognitiva, hacia perspectivas más socioculturales, es decir, del denominado Conocimiento y Práctica Profesional del profesor basado en los principios antropológicos y epistemológicos del conocimiento. En lo que concierne a nuestra investigación, el aspecto epistemológico está directamente relacionado con lo que sabe de la tabla periódica y como lo transpone como objeto de enseñanza. La dimensión antropológica hace referencia en nuestro caso a la importancia del contexto en el que el profesor actúa, como son los cursos de química general en la Facultad de Ciencias de la Universidad del Valle y de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Gran parte de las investigaciones sobre el pensamiento de los profesores se basa en métodos cualitativos, entre los cuales son comunes los cuestionarios abiertos y los de respuestas cortas, las entrevistas clínicas, los estudios de caso, las observaciones de clases, las reflexiones a viva voz, la estimulación de los recuerdos, el diario de clases, herramientas de auto evaluación, las metáforas, los mapas conceptuales, etc.. En nuestro trabajo nos hemos servido de cuestionarios y entrevistas semiestructuradas, que han estimulado el recuerdo, para conocer como se refieren los profesores al objeto de enseñanza tabla periódica en los cursos generales de química.

Existen distintas propuestas para categorizar el pensamiento del profesor. De acuerdo con Zohar (2004), el modelo sugerido por Schön et al. (1983, 1987) distingue dos tipos de teorías: las teorías en acción y las teorías apoyadas. Las primeras pueden ser deducidas a partir de las observaciones de los profesores en sus prácticas. Las segundas son las manifestadas por los profesores cuando son consultados acerca de lo que harían en una determinada situación profesional. Por otro lado, Shulman et al. (1986, 1989), sugieren que el conocimiento consiste en una serie de componentes, tales como el conocimiento de la asignatura a enseñar, el conocimiento del contenido pedagógico, el conocimiento de los estudiantes, el conocimiento de los objetivos educacionales, el conocimiento del currículo y el conocimiento pedagógico general. Por otra parte, Porlán y Rivero (1998) describen el “conocimiento profesional realmente existente” en función de cuatro componentes: los

saberes académicos, los saberes basados en la experiencia, las rutinas y guiones de acción y las teorías implícitas.

Existen distintas posiciones respecto a la relación entre conocimiento y creencia. Zohar, (2004) comenta que hay quienes, como Tobin et al., (1994), consideran que conocimiento y creencias son equivalentes y en este sentido se define una creencia como una forma de conocimiento, personalmente viable, que capacita a las personas a alcanzar sus objetivos. Otros, en cambio, continúa explicando Zohar, sugieren que las creencias tienen una mayor componente afectiva y evaluativa que el conocimiento (Nespor, 1987), o que las creencias están basadas en evaluaciones y juicios mientras que el conocimiento se basa en hechos objetivos (Pajares, 1992). Como se ve, parece ser que para el concepto “creencia” en el ámbito de la investigación didáctica sobre los profesores hay tantas interpretaciones como para el concepto elemento en el ámbito químico.

Para Zohar, el pensamiento de los profesores se compone de conocimientos y de creencias. El conocimiento está más referido a los casos en los que el pensamiento del profesor está enfocado en dimensiones cognitivas, tales como la habilidad para manipular o explicar conceptos científicos, mientras que las creencias hacen referencia a las dimensiones afectivas del pensamiento como cuando se trata de actitudes, motivaciones o tendencias. En nuestro trabajo consideramos también que el pensamiento de los profesores consta de ambos componentes. De un lado, hay un conocimiento científico sobre la tabla periódica que es discutido objetivamente, y de otro, están, por ejemplo, las creencias sobre la conveniencia o no del uso de las analogías como herramientas en la transposición en clase. No obstante, estas diferencias no serán demarcadas en el análisis de los datos ni en la discusión de los resultados, simplemente nos referiremos a las ideas de los profesores en cuanto a la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de Química en la universidad.

Existen controversias acerca de si el pensamiento del profesor se refleja o no en su práctica docente, pero en lo que sí parece haber un consenso general es en la necesidad de que los profesores adecuen su conocimiento profesional a su puesta en clase. Cada vez hay un sentir más profundo de que, si deseamos ser profesores, no basta con tener un amplio

conocimiento sobre un área determinada, sino que tenemos que prepararnos y aprender a enseñar. Zohar recopila una gran cantidad de investigaciones sobre este tópico, a las que se pueden sumar los trabajos de Gil (1991), Catalayud y Gil (1993), Porlán y Rivero (1998), Manso(1999), Campanario y Moya (1999), Ferrer y González (1999), De la Cruz (2000), Imbernón (2000), Campanario (2002), Fernández et al. (2002) y Mellado (2003). De hecho, en el Primer Congreso Internacional: “Docencia Universitaria e Innovación, realizado en Barcelona en junio de 2000, se dedicó la Ponencia 3 a la “Formación del Profesorado Universitario”, y dentro de este tema en particular se presentaron treinta y cinco trabajos. Las palabras iniciales del presentador de la ponencia (Imbernón, 2000)² ratifican esta necesidad: *“La formación del profesorado universitario es necesaria e imprescindible en una universidad que pretende mirar hacia un futuro diferente, hacia una nueva Universidad que supere los viejos esquemas y las antiguas ideologías académicas predominantes...”*

Lo anterior, por supuesto, no contradice en ningún momento el requisito indispensable de saber lo que se va a enseñar. De hecho, una débil formación en la propia asignatura tiene tantas consecuencias, o más, que las que puedan tener las creencias en el desempeño del profesor (Enduran y Scerri, 2002).

Como se mencionó anteriormente, en su libro *“El conocimiento de los profesores”* Porlán y Rivero (1998) describen el “conocimiento profesional realmente existente” en función de cuatro componentes, generadas a su vez a partir de dos dimensiones, la epistemológica, organizada en torno a la dicotomía racional-experiencial y la psicológica, organizada en torno a la dicotomía explícito-implícito. Estas componentes son las siguientes:

Los saberes académicos, correspondientes al conjunto de concepciones disciplinares que tienen los profesores respecto a los contenidos del currículo o a las Ciencias de la Educación. Son explícitos y están organizados atendiendo a la lógica disciplinar. Suelen generarse a lo largo de la formación inicial del profesor, tienen poca influencia en la actividad profesional y constituyen lo que algunos llaman “la teoría”.

² Memorias del 1^{er} Congreso Internacional: “Docencia Universitaria e innovación”. Barcelona, 26, 27 y 28 de Junio de 2000.

Los saberes basados en la experiencia, que son las ideas que los profesores desarrollan durante el ejercicio de su profesión acerca de los diferentes aspectos de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Este tipo de concepciones se suelen compartir en el contexto escolar, tienen un fuerte poder socializador y orientan con frecuencia la conducta profesional, aunque en ocasiones, aparezcan divergencias entre unas y otra. Se observan en los momentos de programación y evaluación y, especialmente, en situaciones de conflicto en el aula. Epistemológicamente hablando, pertenecen al conocimiento del “sentido común” por lo que puede adaptarse a las circunstancias, presentar contradicciones y estar impregnado de valoraciones morales e ideológicas.

Las rutinas y guiones de acción, constituyen el conjunto de esquemas tácitos que permiten predecir el acontecer en el aula y contienen pautas de actuación concretas y estandarizadas para abordarlos. Puesto que las rutinas son inevitables en toda actividad humana ya que simplifican la toma de decisiones y disminuyen la ansiedad frente a lo desconocido, se constituyen en el saber más próximo a la conducta y son muy resistentes al cambio. Por tal razón, cualquier cambio que se quiera promover en la enseñanza ha de traducirse, en últimas, en un cambio de rutinas. Este componente del conocimiento profesional está organizado en el ámbito de lo concreto y se vincula a contextos muy específicos y es común que cuando los profesores hablan de lo que hacen, en realidad estén manifestando lo que de acuerdo a sus creencias y principios explícitos deberían de hacer. Este tipo de saber se genera lentamente a través de la impregnación ambiental y es producida por la observación tanto propia como de los demás y pueden explicar algunas diferencias encontradas entre los profesores con experiencia y los noveles.

Las teorías implícitas, que hacen referencia a aquello que los profesores creen y hacen sin conocer la existencia de las posibles relaciones entre sus formas de pensar y de actuar y determinadas formalizaciones conceptuales. (Por ejemplo, el uso inconsciente de las analogías como herramienta didáctica. Linares, 2002). Por lo tanto, constituyen más un no-saber, que un saber como tal. Este tipo de concepciones sólo se hacen evidentes con la ayuda de otras personas ya que ni constituyen teorizaciones conscientes de los profesores ni aprendizajes académicos que se hayan convertido de manera significativa en creencias y pautas de actuación concreta. De manera similar a las rutinas, estas teorías y concepciones

implícitas suelen guardar relación con estereotipos dominantes que sobreviven apoyados en la tradición y en las evidencias aparentes del sentido común.

Los autores concluyen que *“el conocimiento profesional dominante suele ser el resultado de yuxtaponer estos cuatro tipos de saberes, que son de naturaleza diferente, se generan en momentos y contextos distintos, se mantienen relativamente aislados unos de otros en la memoria de los profesores y se manifiestan en distintos tipos de situaciones profesionales o pre-profesionales.”*(p.63)

Los tres últimos saberes constituyen en su conjunto un “saber implícito” en el caso de los profesores universitarios que nos atañe, puesto que, como ya lo hemos comentado al principio de este trabajo, la casi totalidad de los participantes tiene una formación en ciencias pero no han pasado por una facultad de educación para ser docentes.

Por lo tanto, el conocimiento práctico de los profesores debe reunir tres requisitos básicos:

- a) ser riguroso y crítico en el tratamiento de los problemas profesionales que le son propios, para lo cual es necesario reelaborar los saberes procedentes de las distintas fuentes;
- b) reconocer, valorar y mejorar las pautas profesionales de actuación en contextos cotidianos y concretos; y
- c) abordar los dilemas éticos presentes en toda intervención social.

3.1.1. Los saberes disciplinares básicos y los saberes metadisciplinarios

En cuanto a las disciplinas relevante para el conocimiento profesional de los profesores, Porlán y Rivero (1998) citan las relacionadas con las áreas curriculares (la Química, por ejemplo), las relacionadas con la enseñanza (Pedagogía, currículo, etc.), las relacionadas con el aprendizaje (Psicología) y las relacionadas con los sistemas educativos (Sociología de la educación, Política Educativa, etc.). Nuevamente nos encontramos con que, en el caso particular de nuestra investigación, los profesores sólo han sido formados en el conocimiento de la materia que enseñan.

Existe la indiscutible idea generalizada que para poder enseñar algo, hay que conocerlo. Esto implica, según los autores (p.74), “*comprender en profundidad el objeto de estudio y los hechos, principios, leyes y teorías más relevantes, así como las relaciones entre todo ellos. Se trata de conocer los marcos conceptuales del área y la estructura interna básica del área*”, de tal manera que el profesor pueda distinguir entre los conceptos descriptivos, que responden a los “¿qué es?”, los conceptos explicativos, que responden a los “por qué” y los conceptivos aplicativos que dan cuenta de los “para qué.”.

Sin embargo, el conocimiento de la materia puede resultar insuficiente si no se tienen los otros conocimientos metadisciplinarios que permiten comprender los procesos a través de los cuales se genera el conocimiento científico. Además, es conveniente incorporar ciertas nociones puente con otras áreas afines que permitan al profesor tener una visión más global del conocimiento.

Como ya se ha dicho, la ciencia no es una materia neutra y por tanto, requiere del conocimiento de las posibles relaciones entre los contenidos del área y los problemas socioambientales relevantes.. Sólo si el profesor es consciente de estas relaciones podrá generar en sus estudiantes una comprensión de la realidad, con capacidad para decidir e intervenir en el mundo.

Teniendo en cuenta además que los profesores deben mantener una actitud abierta a la actualización permanente de sus conocimientos, los autores concluyen que el conocimiento de la materia debe ser “*articulado, flexible, plural, crítico e integrador*”, de modo que incluya no sólo el saber de la disciplina sino también sobre ella, es decir, el saber metadisciplinar.

En lo referente al pensamiento de los profesores, después de revisar una amplia bibliografía, Porlán y Rivero manifiestan que además de las creencias y principios didácticos explícitos y conscientes, los profesores suelen tener unos modelos implícitos, adquiridos a lo largo de su vida como alumnos o a través de la socialización profesional.

Estos modelos implícitos, que se comportan como cajas negras, de carácter tácito y tradicional, escapan al propio control pero interfieren marcadamente en el desarrollo y

desempeño de los profesores, creando grandes antagonismos entre lo que se dice que se debe hacer y lo que finalmente, en realidad, se lleva a la práctica.

Precisamente las didácticas específicas, como saberes aplicados, están dedicadas a la elaboración de modelos didácticos, de hipótesis curriculares y propuestas de actuación en el aula que abran “la caja negra”. En ellas se reúnen los conocimientos psicopedagógicos con los de la materia que se enseña. Los autores describen esta unión entre los dos componentes a través de una analogía, según la cual (p.81): *“no es una mezcla física entre ellos, sino una reacción que permite la aparición de un cuerpo de conocimiento diferenciado”* y las resumen como *“una fuente epistemológica que aporta conocimientos integrados y próximos a la práctica, específicos para la enseñanza y aprendizaje de las materias escolares, e hipótesis más o menos complejas, de actuación”*.

La figura 5, tomada de Porlán y Rivero (1998, p.84) representa el proceso de integración de los saberes académicos relacionados con el conocimiento práctico profesional, gracias a la didáctica de las ciencias.

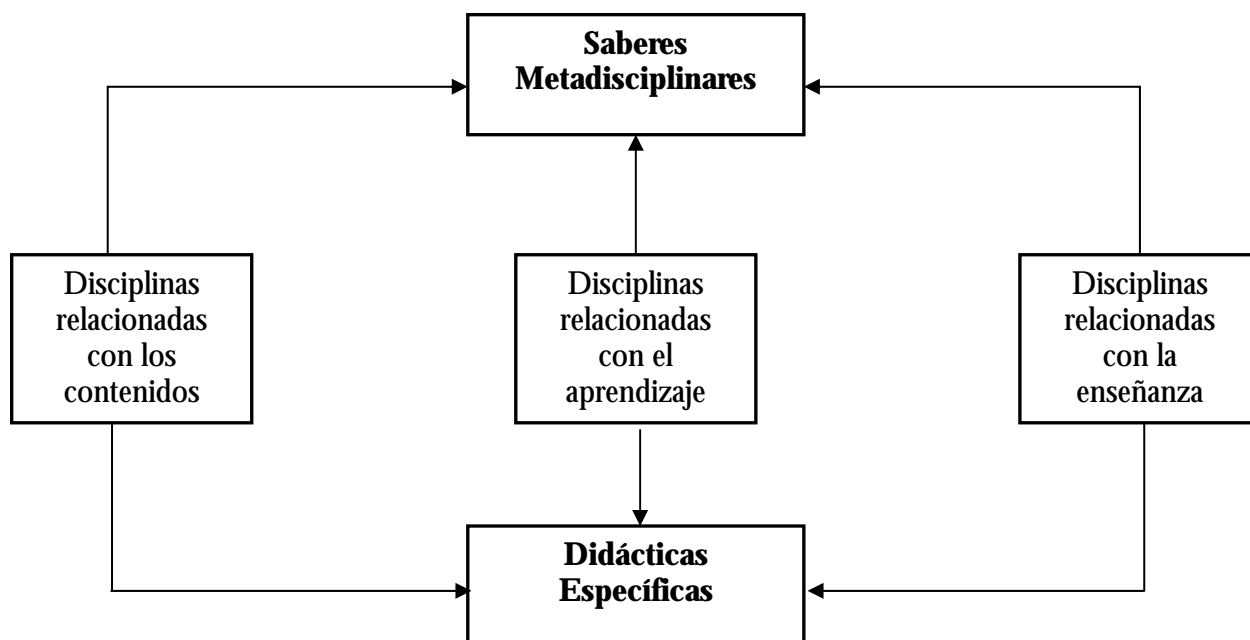


Figura 5

3.1.2. La experiencia profesional

En cuanto a la experiencia profesional, Porlán y Rivero (1998) destacan tres componentes principales:

- a) Los saberes rutinarios, referentes a los guiones y esquemas de acción, imprescindibles para organizar y dirigir la clase.
- b) Los principios y creencias personales, relacionados con las concepciones, metáforas e imágenes que tienen los profesores acerca de su propia experiencia profesional. En docentes con amplia experiencia y con actitudes innovadoras, este aspecto constituye una fuente importante de su saber profesional.
- c) Los saberes curriculares sistematizados, que tienen que ver con las ideas, hipótesis de trabajo y técnicas concretas que entran en el diseño, aplicación y seguimiento del currículo. Este saber suele integrar algunos aspectos importantes:
 - Conocer la existencia de concepciones en los alumnos, así como su utilización didáctica.
 - Conocer como se formula, organiza y secuencia el conocimiento escolar.
 - Saber diseñar un programa de actividades válido para el tratamiento de problemas interesantes y con potencialidad para el aprendizaje.
 - Saber dirigir el proceso de aprendizaje del alumno.
 - Saber qué y cómo evaluar.

El conocimiento práctico profesional deseable es la resultante de un complejo proceso de interacciones e integraciones de diferente nivel y naturaleza, organizado alrededor de los problemas de la práctica profesional. Sin embargo, esta integración no es simplemente una yuxtaposición de sus distintas partes, sino que *implica una profunda tarea de reelaboración y transformación epistemológica y didáctica que puede realizarse en varios niveles*. (Martín del Pozo, 1994; Porlán y Rivero, 1998).

En síntesis, compartimos estos planteamientos en cuanto a que, en general, los profesores son poco permeables a las propuestas y reflexiones de los investigadores. Esto se debe a

que cada uno tiene sus propias concepciones explícitas e implícitas, que no cambian fácilmente cuando son confrontadas con otras perspectivas diferentes presentadas por los investigadores. Además, los enfoques formativos predominantes no promueven un conocimiento profesional que integre de forma adecuada los conocimientos teóricos y los que provienen de la experiencia profesional. De ahí que se encuentre tanta resistencia al cuestionamiento de ciertas prácticas a la luz de planteamientos teóricos innovadores. Por todo lo anterior, los únicos que pueden hacer evolucionar el modelo de enseñanza predominante, son los mismos profesores. Por tanto, si realmente se quiere lograr un verdadero cambio en las aulas, es necesario comenzar por investigar sus concepciones científicas, didácticas y curriculares, analizar los obstáculos que presentan ante propuestas innovadoras y, con base en esto, diseñar programas de formación que faciliten el desarrollo de los profesores y, a través de ellos, el de los estudiantes.

Creemos conveniente aclarar que en esta memoria no entraremos en un análisis depurado de los términos creencias, concepciones, pensamiento, conocimiento, etc. que han sido objeto de amplios debates en investigaciones anteriores (Pajares, 1992; Marcelo, 1987, 1989; Shulman, 1986, 1989). Lo que nos interesa es describir cómo se refieren los profesores a la tabla de periódica como objeto de enseñanza y aprendizaje. Por tanto, nuestro planteamiento se acerca más a la línea del denominado Conocimiento y Práctica Profesional del profesor (Marcelo, 2002; Llinares, 2000; Moreno, 2000; Porlán y Rivero, 1998).

3.2. Qué enseñar en química general

Una inquietud que siempre ha rondado a los profesores de Química es qué enseñar en los cursos básicos para que los estudiantes se motiven y aprendan. (Urey, 1929; Sisler, 1948; Tamres y Bailar Jr., 1952; Whitman, 1984; Woodgate, 1995; Izquierdo, 2003a).

No pretendo extenderme en este apartado ya que este es un tema que ha dado mucho que hablar a lo largo de la historia y todavía hoy no hay acuerdos sobre lo que se debe incluir tanto en los currículos de formación profesional como en los de las asignaturas. De ahí que

haya tanta dificultad en las convalidaciones de uno a otro país e, inclusive, entre las universidades de un mismo país.

Por tanto, y sólo con el interés de destacar la importancia de proveer de unas sólidas bases químicas a las jóvenes generaciones que ingresan a la universidad, me permito transcribir las cuatro razones expuestas por Sisler en 1948, para la enseñanza de los principios teóricos “modernos” (cada vez más amplios y profundos, Whitman, 1984):

1.- Muchos profesores creen que el uso de los principios teóricos modernos para organizar el curso de química elemental provee una fuerte motivación para que el estudiante se esfuerce. Si el estudiante ve que los hechos observables pueden relacionarse con principios teóricos básicos, que los hechos ordinarios en química están relacionados con esos nuevos avances científicos que lee en los periódicos, si se da cuenta que con sólo unos pocos principios básicos puede explicar todo el universo material, su motivación aumenta. Esto no significa que se omitan los hechos fundamentales de la química.

2.- La incorporación de los principios teóricos en los cursos de química general puede disminuir su dificultad para el estudiante. Estos principios se constituyen en un hilo de conducción para explicar hechos químicos que de otra forma estarían aislados e incoherentes. De todos modos, cada profesor puede ir tan lejos en este tema como desee, pero igualmente, grandes cantidades de química descriptiva pueden hacer que el curso se convierta simplemente en un “manual”.

3.- El abordaje de la química general a partir de estos principios es mucho más consistente con los objetivos de la educación general. Aunque hay quienes consideran que para un estudiante de química general todas estas explicaciones son excesivas, nosotros pensamos que es importante que el estudiante aprenda a preguntarse ¿por qué? Y esta manera de introducir la química favorece el razonamiento del estudiante y fortalece su espíritu de investigación científica por encima de una presentación empírica únicamente clasificatoria. Un estudiante que conoce una teoría tendrá mejores bases para comprender una nueva.

4.- **Muchos profesores creen que el objetivo del profesor tradicional es enseñar tantos hechos en química como sea posible. En este caso, este objetivo también se cumple mejor acercándose a la química general a través de los principios.** De esta manera el estudiante será capaz de predecir muchas propiedades de las sustancias sin tener que recurrir únicamente a su memoria.

No obstante, Sisler también prevé algunos inconvenientes que se pueden presentar:

- 1.- Que el profesor se dedique tanto a estos principios de la química que olvide explicar algunos hechos materiales. La teoría debe ser una herramienta, no un fin en sí mismo.
- 2.- Que el profesor presente estas ideas sin tener bien claras sus limitaciones.

3.3. Historia y Filosofía de las Ciencias en el aprendizaje y la enseñanza de la Química

Cada vez es más sentida la necesidad de incluir la historia y la filosofía de las ciencias tanto dentro de los currículos de formación de profesores de química como en la enseñanza misma de la química (Gagliardi, 1988; Solbes y Travers, 1994; Izquierdo, 2000; Adúriz-Bravo, 2001; Solbes y Travers, 2001; Wandersee y Baudoin Griffard, 2002; Adúriz-Bravo et al., 2002). En este mismo sentido, Gil (1993), Furió y Domínguez (2001) manifiestan que la comprensión de los obstáculos epistemológicos encontrados en la historia de la ciencias puede ser de gran ayuda para entender las actuales dificultades de los estudiantes en la construcción de su propio conocimiento. De la estrecha relación entre ontogenia y filogenia comentamos también en este trabajo (Enduran y Scerri, 2002). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el contexto actual no es el mismo en el cual se originaron tales conocimientos. Por último, y desde la otra cara de la moneda, Furió (1994) también plantea que los obstáculos que encuentran los estudiantes en este momento pueden ser un buen material de estudio para los historiadores de la ciencia en busca de nuevas interpretaciones de los fenómenos que han inquietado a la comunidad científica.

Wandersee y Baudoin Griffard, (2002) resumen los cuatro argumentos de Justi y Gilbert (1999) y Matthews (1994) para incluir la historia y la filosofía como parte de la enseñanza de las ciencias:

- 1.- Le enseña al estudiante acerca de la naturaleza de las ciencias
- 2.- Permite a los profesores aprovechar cualquier paralelo entre el desarrollo del conocimiento propio y su desarrollo histórico.
- 3.- Desarrolla el pensamiento crítico de los estudiantes.
- 4.- Capacita a los profesores para encaminar los problemas prácticos de la instrucción, como por ejemplo, la organización de un currículo, de una manera que permita la integración transversal del conocimiento.

Tales ventajas según los autores están soportadas por una tríada coherente: una razón epistemológica, una razón ontológica y una razón de contenido.

De otro lado, Estany e Izquierdo (2001), plantean que la reflexión filosófica puede hacerse desde tres aspectos diferentes: el metodológico, el ontológico y el lógico-semántico.

El aspecto metodológico es tan importante que muchas veces la filosofía de las ciencias es llamada “ metodología de las ciencias”. Este aspecto tiene que ver con las guías y principios que deben regir la investigación científica.

El aspecto ontológico se manifiesta a varios niveles. Por un lado tiene que ver con las entidades mínimas sobre las cuales se construyen las leyes y las teorías, como por ejemplo, los átomos para la teoría atómica. Otro nivel del aspecto ontológico consiste en determinar las categorías fundamentales de la ciencia, como por ejemplo, las teorías o los modelos.

Finalmente, el aspecto lógico-semántico está relacionado con la construcción de la estructura lógica del discurso científico y uno de sus objetivos es la reconstrucción formal de las teorías científicas.

Sin embargo, a pesar de todos estos beneficios sustentados en muy buenas razones, la inclusión de la historia y la filosofía de las ciencias en los cursos de ciencias es un proceso lento y difícil, ya que muchos lo ven como una pérdida de tiempo y a quienes primero hay que convencer es a los profesores de tales cursos (Wandersee y Baudoin Griffard, 2002).

La formación de “químicos puros” en la facultad de ciencias de la Universidad del Valle adolece de falta de cursos de historia de las ciencias que permitan esta contextualización del conocimiento de que se habla aquí.

Toda decisión de un profesor, tanto en lo teórico como en lo práctico, está promoviendo una ideología y unos valores determinados (Estany e Izquierdo, 2001). Citando a Hartnett y Naish (1988) a través de Martínez Bonafé (1995) dicen: *“Poder y saber se implican directamente el uno al otro... No hay relación de poder sin la construcción correlativa de un campo de saber, ni saber alguno que no presuponga y constituya al mismo tiempo relaciones de poder”*.

Así, el profesor no puede delimitar su conocimiento a uno puramente académico que sólo puede elaborar información, sino que necesita de una reflexión sobre los aspectos ideológicos relacionados que le permitan generar un conocimiento crítico y ético. No basta con comprender los fenómenos relacionados con los procesos de enseñanza aprendizaje y conocer las actuaciones más adecuadas para su puesta en práctica, sino que también debe poder decidir para qué y por qué hacerlas, cuestionando sus valores y sus fines.

En conclusión, es necesaria una perspectiva ideológica crítica para que la educación no sea: *“un proceso exclusivamente racionalizador, que olvide la naturaleza interesada de todo conocimiento y las estrechas relaciones que existen entre sistemas de significado y sistemas de dominación y poder”*. (Porlán y otros, 1996)

3.4. Coherencia en el discurso de los profesores

El análisis de la consistencia y la coherencia en el discurso de los profesores ya ha estado presente en otras tesis doctorales del Departamento de Didáctica de la Universidad

Autónoma de Barcelona (Badillo, 2003; Moreno, 2000). Estudios previos realizados con alumnos llevaron a Garbin (2000), citada por Badillo (2003) a distinguir entre los constructos “incoherencias e inconsistencias”:

“ Si bien es cierto que son términos que pueden considerarse sinónimos, nosotros los usamos y seguiremos usando con matices diferentes aunque estrechamente relacionados. (...) Cuando se habla de una idea o pensamiento inconsistente, es con relación al concepto matemático involucrado, o a contradicciones dentro de una teoría matemática dada. Generalmente, aparecen durante la resolución de un problema o en una respuesta al mismo. (...) Ya hemos hablado que una forma particular de inconsistencias directas son las que se presentan en la situación en que los estudiantes tienen que resolver un mismo problema representado de diferente forma, poniendo de manifiesto que los alumnos no mantienen respuestas consistentes ante varias representaciones. Es decir, alguna respuesta puede ser consistente con el concepto para un tipo de representación e inconsistente con el concepto para una representación distinta. (...) Ante esta situación en que el estudiante tiene que resolver un mismo problema pero expresado de distintas maneras, se generan respuestas contradictorias entre sí (la de un problema con respecto al otro). Nosotros llamamos a estas repuestas contradictorias entre sí, respuestas incoherentes, o coherentes en caso contrario. Las líneas de coherencia son las que permiten identificar este tipo de respuestas. En consecuencia, podemos tener un alumno cuyas ideas o respuestas sean inconsistentes con el concepto involucrado (idea o respuesta errónea) y, sin embargo, mostrarse coherente en su pensamiento (ideas o respuestas equivalentes en problemas diferentes).” (Garbin, 2000, 255-258).

Badillo (2003) retoma las definiciones de Garbin(2000) y de Moreno(2000), quien habla de determinar el nivel de coherencia de las creencias y las concepciones de los profesores en cuanto que influyen directamente su práctica docente y valorar la consistencia de tales creencias y concepciones de acuerdo a su posibilidad de pasar de una idea a otra en la enseñanza de un tópico determinado. Badillo propone entonces que el término ***inconsistencia*** haga referencia a la detección de errores en el profesorado, teniendo como referencia a la matemática como disciplina científica, mientras que el término ***coherencia*** hace referencia a la relación existente entre lo que el profesor dice que hace y lo que hace en realidad en su práctica docente o a las distintas formas de abordar un mismo problema matemático enunciado en diferentes contextos.

Si bien los trabajos antes señalados son del área de matemáticas, consideramos pertinente importar algunas de sus definiciones para el análisis de algunos conceptos en las entrevistas realizadas en esta investigación, en particular para el caso del concepto elemento químico. En nuestro trabajo no vamos a hablar de la consistencia de los planteamientos de los profesores participantes, pero sí de la coherencia. Así, siguiendo la líneas de estas tres autoras, diremos que un profesor es ***coherente*** cuando mantenga sus concepciones a lo

largo de todo su discurso y sus ideas coincidan en los distintos instrumentos utilizados para la recogida de datos en esta investigación, e *incoherente* cuando no sea así.

4. Modelos y modelización en la enseñanza de la química

“Como a la química le conciernen las propiedades de los materiales y sus transformaciones, los químicos son esencialmente modeladores...” afirman Justi y Gilbert (2002, p.47). En este proceso de modelización los químicos buscan predecir las condiciones óptimas para lograr, por una parte, que ocurran las transformaciones deseadas y por otra, evitar las indeseadas. Los químicos modelizan tanto los fenómenos que observan como las ideas con las que tratan de explicar dicho fenómeno. Esta modelización ocurre tanto en un nivel macroscópico como microscópico, a través de 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 químicas.

Por lo tanto, el conocimiento químico es ampliamente producido y comunicado mediante el uso de diferentes tipos de modelos (Campbell, 1946, Sanderson, 1960, Records, 1982, Smith, 1989, Duit, 1991, Bolmgren, 1995, Dagher, 1995, Harrison y Treagust, 1996, He y Li, 1997, Vasini y Donati, 2001, Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001, Fernández et al., 2003). Muchos de ellos consisten en signos con distintos niveles de abstracción, desde los modelos tridimensionales de esferas y palitos, hasta la tabla periódica y las fórmulas químicas.

De acuerdo a Nye (1993), Peirce distingue tres tipos de signos: los íconos, los indicios y los símbolos. Los íconos conservan el elemento o prototipo representado. El indicio, alude al prototipo por medios indirectos de conexiones empíricas. Por ejemplo, una hoja volando es *indicio* de que hay viento. El símbolo evoca el prototipo a través de convenciones y un sistema de relaciones.

Los modelos científicos del tipo de los diseñados por Dalton utilizando bolas de madera para representar los átomos corresponden a *íconos*. La tabla periódica es un “modelo” de

otro tipo, ya que es un conjunto de símbolos ordenados según un criterio que no siempre resulta fácil de comprender.

Sin embargo, la idea de modelo científico ha ido cambiando con los años. Para Boltzmann un modelo debía incluir una analogía espacial concreta en tres dimensiones, el cual tiene relación con lo que nosotros llamamos “maqueta”. De esta forma los mapas o las notas musicales quedaban excluidos de tal definición. En 1929, Langmuir introdujo la idea de que una ecuación matemática también era un modelo. Más adelante, Jerome Bruner clasificó los modelos en tres categorías: 1.- icónicos, relacionados con la percepción y la imaginaria, 2.- interactivos, que permiten la manipulación y la acción y 3.- descriptivos o analítico/matemáticos, relativos a los aparatos simbólicos.

Colin Scucklig, Keith Suckilng y Charles Sucking, citados por Nye, están de acuerdo en que los modelos incluyen los sistemas matemáticos y clasifican los modelos en química en cuatro tipos: 1.- mecánico cuánticos, 2.- grupos funcionales, 3.- efectos y 4.- sistemas reaccionantes.

Mary Heese, por su parte, describe un modelo como cualquier sistema que se pueda construir, dibujar, imaginar (o nada de lo anterior), que tiene la característica de hacer una teoría *predictiva*. Estas teorías pueden ser: 1.- teorías formales, 2.- modelos conceptuales o 3.- modelos análogos materiales.

No obstante, para algunos científicos un modelo, por definición, “*fabrica una imagen concreta*” y “*no constituye una teoría*”. Para otros, el modelo en todos los casos tiene un significado explicativo o teórico. Como afirma Kuhn, “...es al modelo de Bohr a lo que se refiere la ecuación de Schrödinger, no a la naturaleza...” (Nye, 1993, p.75).

Otra definición de modelo comúnmente aceptada es la de Ingman y Gilbert (1991), según la cual un modelo es una representación simplificada de un sistema, que concentra su atención en aspectos específicos del mismo. Además, los modelos permiten que aspectos del sistema ya sea un objeto, un hecho o una idea, que son o bien complejos, o en una

escala diferente a la que percibimos normalmente, o bien son abstractos, puedan ser representados de manera visible o, al menos, más fácilmente visibles.

Ahora bien, no siempre los estudiantes entienden desde el principio la diferencia entre el modelo y la realidad (Giere, 1999). Esto puede deberse a que a veces los modelos que manejan son tipo icono, que representan macroscópicamente las estructuras moleculares, como si fueran lo mismo, y llegan a confundir el modelo con la realidad. Otra precaución que se debe tener al utilizar este tipo de modelos es que no están hechos a escala, y los estudiantes deben saberlo previamente. Hoy en día existen nuevos modelos por computador que permiten la simulación de reacciones y fenómenos químicos, ayudando a la visualización de la química, la percepción de la naturaleza y la comprensión del papel que juegan los modelos en el aprendizaje (Justi y Gilbert, 2002). La eficacia de estos nuevos modelos ha de ser estudiada detenidamente.

Un cuidado similar es necesario cuando se usan analogías, ya que en ocasiones los estudiantes se quedan con el modelo (la analogía) en lugar de comprender el concepto o el fenómeno que se quiere enseñar (Duit y Wilbers, 2000; Oliva et al. 2001). El uso de las analogías es un tema de preferencial importancia en nuestro trabajo y a él está dedicada una sección, tanto en el marco teórico, como en el análisis de datos y discusión de los resultados.

Los profesores, por su parte, también tienen sus propias concepciones acerca de los modelos y los procesos de modelización. En una investigación realizada por Justi y Gilbert (2002) con un grupo de 39 profesores del Brasil, de los cuales 21 eran profesores de química y nueve de ellos, profesores universitarios, recogieron siete aspectos relevantes respecto a sus nociones de modelo. Estos siete aspectos son: la *naturaleza* de un modelo, el *uso* que se le puede dar, las *entidades* de las cuales consta el modelo, su *unicidad* relativa, el lapso de *tiempo* en el cual se puede usar, su estatus para hacer *predicciones* y las bases para la *acreditación* de su existencia y uso.

Todos los profesores de química estuvieron de acuerdo en que los modelos pueden cambiar, lo cual evidencia la gran variedad de modelos que se utilizan en la enseñanza de la

química. Pero también manifestaron que muchos de los modelos utilizados en clase son tomados como una “verdad absoluta”.

Posteriormente, los profesores manifestaron que un proceso de modelización es exitoso cuando está claro el por qué de la creación de tal modelo y la audiencia a quien va dirigido (Zook y DiVesta, 1991) Esto puede asimilarse a la condición pragmática que Thagard (1992) plantea para la elección de una analogía que explique un objetivo determinado. Además, dijeron los profesores, el modelo debe parecerse lo mejor posible al fenómeno que se quiere representar y destacaron la importancia del uso de las analogías en la construcción de modelos.

Finalmente, respecto a los profesores de química, la investigación de Justi y Gilbert (2002) puso en evidencia que el uso que un profesor hace de los modelos y de los procesos de modelización en sus clases depende de su visión particular de la naturaleza de los mismos, no de un consenso colectivo.

No cabe la menor duda entonces de lo importante que es tener claro qué es un modelo y cómo se deben adelantar procesos de modelización que realmente satisfagan las expectativas de su función.

4.1. Modelo cognitivo de ciencia

En nuestra investigación se han traído a colación varios modelos, todos ellos relacionados para configurar el gran modelo cambio químico. En primer lugar, la tabla periódica como representación de la ley asociada a ella, relacionada con el modelo atómico en los libros y en las clases. En segundo lugar, el uso de las analogías como modelos mediadores en el proceso enseñanza aprendizaje.

Con respecto a los modelos que se usan en las ciencias, en este trabajo nos adherimos a los planteamientos de Giere (1999). De acuerdo con Giere (1999, pág. 64) los modelos son *“objetos abstractos cuyo comportamiento se ajusta exactamente a las definiciones”* que establecen

relación de similitud con los fenómenos del mundo. De esta forma un modelo viene a ser un mediador entre las definiciones teóricas y el mundo real. No obstante, ya que a menudo la comprensión de los modelos teóricos puede resultar algo compleja, es posible construir modelos físicos para caracterizar un modelo abstracto que facilite la comprensión de una teoría o un fenómeno científico.

Para Giere los modelos científicos son como los mapas de calles o de carreteras. Según sus propias palabras, ningún mapa es totalmente correcto, pero pueden ser útiles para encontrar el propio camino en un territorio desconocido. Lo mismo ocurre con los modelos científicos.

Según el autor, para que un modelo se considere adecuado, debe relacionarse y ajustarse a los objetos del mundo real mediante hipótesis teóricas que se desarrollen a partir de las predicciones basadas en los datos experimentales; finalmente, debe ser el único que cumpla con tales condiciones. Como manifestaron los profesores de la investigación de Justi y Gilbert (2002), lo ideal es que el modelo represente de la mejor manera la realidad y que permita hacer predicciones certeras. Estas condiciones se relacionan de acuerdo a la figura 6 tomada de Giere (1999, p.65) y al árbol de decisión representado en la figura 7 (p.69)

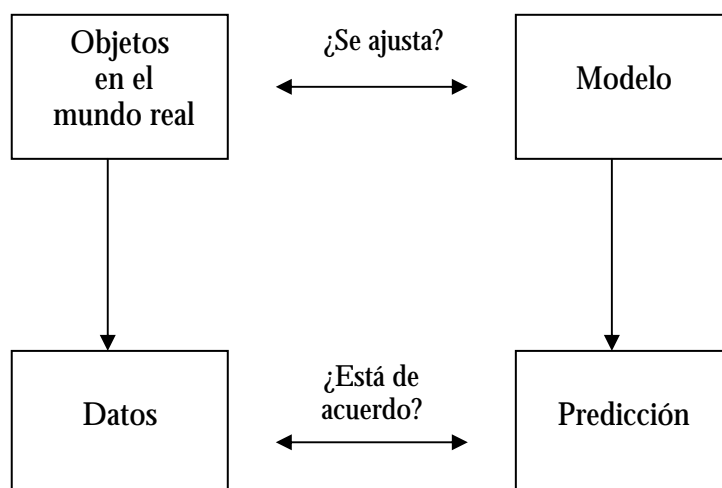


Figura 6

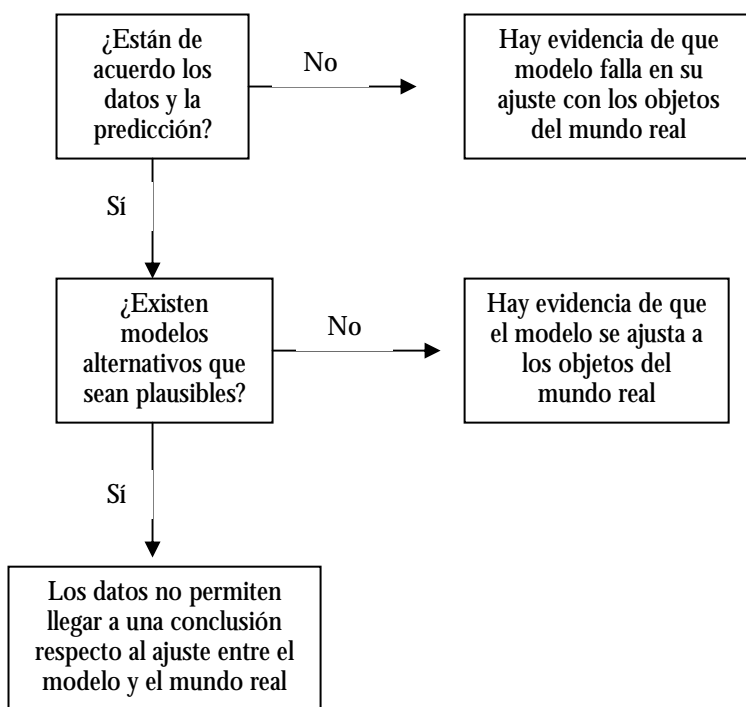


Figura 7

4.2. Modelos atómicos

Uno de los problemas con que se encuentran los profesores al enseñar química general es decidir cuál modelo atómico enseñar (Urey, 1929, Wiswesser, 1945, Wiswesser, 1948, Sisler, 1948, Whitman, 1984, Izquierdo, 2003a). Izquierdo (2003a) identifica dos modelos que se entremezclan permanente tanto en los libros de texto como en las clases de química. Uno de estos modelos, al que ella denomina Md, está directamente relacionado con el modelo atómico de Dalton, en cuanto está relacionado de alguna forma con la magnitud fundamental de la química, la cantidad de sustancia, denominada *mol*. Un mol está definido como la cantidad de sustancia que corresponde a un número de unidades igual al número de átomos en 0.012 kg de carbono-12. Este modelo entonces trata con millones de millones de átomos comprometidos directamente en el cambio químico que no son contabilizados con los instrumentos de medida habituales.

Sin embargo, los descubrimientos de fines del siglo XIX, basados en la espectroscopia, “*la más exacta de todas las ciencias experimentales*” según Wiswesser (1945), puso en evidencia un nuevo átomo, constituido por partículas subatómicas, y capaz, al parecer, de convertirse en otros mediante un fenómeno conocido como radiactividad.

Este nuevo átomo cuántico, al que Izquierdo denomina Ma, se puede manipular hoy en día gracias a los nuevos instrumentos, en cantidades muy pequeñas hasta llegar a los límites de la “química de un solo átomo” (Hoffmann y Lee, 1999).

El problema principal en la enseñanza, afirma Izquierdo, aparece cuando la mayor parte de las prácticas de química corresponden a Md y en cambio, en clase se explica Ma. Este Ma es generalmente más difícil de manipular con los instrumentos presentes en los laboratorios de colegios o universidades, aunque se encuentran algunas propuestas encaminadas a acercar la teoría a la realidad (Ciparick, 1988). Md corresponde entonces a la química macroscópica mientras que Ma configura una ciencia de estructuras atómico-moleculares. Los dos modelos se complementan y se enriquecen mutuamente siempre y cuando sean gestionados adecuadamente.

Enduran y Scerri (2002) por su parte, se refieren a que el modelo de capas y los orbitales atómicos constituyen la base principal de muchas explicaciones químicas. La formación del enlace, el comportamiento ácido-base, las reacciones de óxido reducción, la fotoquímica y en general, los estudios de reactividad, suelen explicarse a partir de los intercambios electrónicos entre los distintos tipos de orbitales. Los orbitales no pueden ser observados, pero siguen siendo un recurso importante dentro de las explicaciones en química. Los autores sugieren que en la enseñanza de la química en niveles universitarios se aclare la diferencia y, a la vez, la relación entre el estatus explicatorio de los orbitales y su estatus ontológico en la mecánica cuántica.

Retomando a Izquierdo, podemos concluir que los fenómenos asociados con el Modelo Cambio químico están relacionados con Md y comparten las siguientes características:

- Desaparecen unas sustancias y aparecen otras

- Se conservan los elementos
- La masa se conserva (en los átomos) y las sustancias reaccionan en proporciones definidas (en las ecuaciones)
- La energía se conserva en los enlaces
- El cambio se puede representar mediante átomos y enlaces
- El estado final puede ser de equilibrio químico

Mientras que los fenómenos asociados con el modelo Ma se caracterizan porque:

- Requieren nuevos instrumentos para la interacción entre radiación y materia
- Se refieren a interacciones cuantizadas
- Manipulan lo invisible mediante instrumentos específicos
- Se refieren a fenómenos moleculares
- Constituyen ciencias emergentes como la nanotecnología

En síntesis, cuanto más claro tengan los estudiantes (y los profesores) lo que es un modelo, sepan a qué modelo se están refiriendo en cada momento y conozcan sus ventajas explicativas y sus limitaciones, mejor será el proceso enseñanza aprendizaje de los conceptos y fenómenos químicos. (Records, 1982, Schrader, 1985, Ben-Zvi, Eylon y Silberstein, 1986, Justi y Gilbert, 2002).

Para que todo lo anterior se haga posible, es necesario tener presente la importancia de la filosofía y de la historia en el estudio de las ciencias, para contextualizar la emergencia del conocimiento científico (Wandersee y Baudoin Griffard, 2002). El profesor transmite el saber en forma de conceptos, leyes y teorías científicas, pero su objetivo último es explicar el mundo, y para esto tiene que haber una reflexión sobre qué es una explicación científica, tema central de la filosofía de las ciencias (Estany e Izquierdo, 2001, Endura y Scerri, 2002).

4.3. Las analogías en la enseñanza de las ciencias

Dentro del enfoque “basado en modelos”, Izquierdo et al. (1999) propusieron el Modelo Cognitivo de Ciencia Escolar (MCCE) para acercar la ciencia de los científicos a la ciencia de los estudiantes, la ciencia escolar. Este MCCE propone presentar los conceptos generales de cada disciplina a través de modelos teóricos irreductibles que corresponden, según las autoras, a una “manera de mirar” específica.

Estos modelos teóricos escolares cumplen la misma función que las teorías en ciencias. Son representaciones mentales que se pueden materializar en una maqueta o plasmarse en un escrito, o, de manera inversa, pueden ser maquetas o escritos que originan representaciones mentales, y contienen tanto conceptos como hechos significativos. A veces son solamente un conjunto de frases que adquieren significado mediante la experimentación.

Tales modelos teóricos pueden originarse en analogías o metáforas, como en el caso del modelo de las analogías puente propuesto por Clement (1993). Este uso de analogías y metáforas como punto de partida para la creación de un modelo, o proceso de modelización, resulta de particular interés en este trabajo.

Al respecto podemos resaltar algunos apartes del MCCE, entre ellos que la capacidad de representación del mundo es propia de todo aquel que piensa reflexivamente. Por tanto, es posible construir un conocimiento aplicable y útil a partir del conocimiento cotidiano, lo cual constituye la base del aprendizaje por analogías. Siguiendo la misma línea del MCCE, en su tesis doctoral, Adúriz-Bravo (2001) propone los *mediadores analógicos* como auxiliares en el proceso de ascenso analógico desde los modelos del sentido común hacia los modelos teóricos escolares y los modelos teóricos eruditos.

El modelo de ciencia escolar propuesto por Adúriz-Bravo (2001), adaptando y completando las presentaciones de Izquierdo (1995a, 1995b, 1999b, 2001) consta entonces de nueve puntos:

- 1.- El **conocimiento de partida** o modelos del sentido común que ya poseen los estudiantes.
- 2.- El **problema científico escolar** que determina los objetivos epistémicos de la actividad.
- 3.- El **modelo teórico escolar**, que constituye la representación teórica de lo que se desea enseñar y ha sido generado por un proceso de transposición didáctica a partir de un modelo teórico erudito.
- 4.- La **relación analógica** con hechos del mundo para generar los hechos paradigmáticos.
- 5.- El **lenguaje científico escolar** que permite relacionar las semejanzas entre el modelo y el problema a través de un sistema de símbolos creados específicamente para tal fin.
- 6.- Los **mediadores didácticos**, analogías o metáforas que facilitan el paso del modelo del sentido común al modelo teórico escolar.
- 7.- La **intervención científica escolar**, generadora de acciones interpretadas a la luz de las teorías para dar sentido al modelo.
- 8.- Las **argumentaciones científicas escolares** que sirvan para asociar hechos paradigmáticos con acciones, instrumentos, representaciones, analogías, razonamientos, discursos y modelos teóricos mediante un proceso de abducción.
- 9.- La **reflexión metacognitiva** sobre todo lo anterior para lograr la autorregulación del aprendizaje, permitiendo a los estudiantes dar sentido al mundo que los rodea.

Así como la efectividad de una analogía depende en gran parte del hecho de conocer de antemano su finalidad (González,1997), Izquierdo et al. (1999) también destacan la importancia de que los estudiantes entiendan lo que pretenden las ciencias y estén de acuerdo con sus objetivos para poder alcanzarlos.

Todo lo anterior nos lleva a que las analogías, bien utilizadas, no sólo facilitan el aprendizaje de nuevos conocimientos a partir de algo familiar, sino que constituyen un elemento clave en la construcción de modelos que acerquen la ciencia de los científicos al ámbito escolar. Como afirma Adúriz-Bravo (2001, pág.469):

“El modelo cognitivo de ciencia escolar considera la analogía como uno de los instrumentos privilegiados para la construcción de modelos teóricos escolares. Esto supone dotar al lenguaje científico escolar de suficiente profundidad y versatilidad como para poder comunicar con él significados relevantes sobre el mundo natural”.

Todos estos planteamientos están siendo concretados en las distintas investigaciones del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas en la Universitat Autònoma de Barcelona, a través de estudios empíricos y desarrollos curriculares (Izquierdo et al, 1992).

4.3.1. Las analogías y el razonamiento analógico

Existe una amplia literatura sobre el razonamiento analógico y el uso de las analogías como herramienta didáctica. Este tema ha sido estudiado desde diferentes campos del conocimiento, como la psicología y la didáctica de las ciencias. Un análisis en profundidad de todas estas publicaciones requeriría de un tiempo y una dedicación propias de una tesis doctoral. Por lo tanto, para este trabajo, la búsqueda bibliográfica se concretó en algunos, entre ellos Heese, Duit y Thagard; en la comunicación directa con algunos expertos, tal como el doctor en didáctica Agustín Adúriz-Bravo (2001) y en el texto de María José González Labra, *Aprendizaje por Analogías* (1997) el cual, además de enseñarme muchas cosas que desconocía sobre el tema, me abrió un amplio panorama bibliográfico y me sirvió de hilo conductor para la elaboración de este marco teórico.

La analogía es una comparación entre dominios de conocimiento que mantienen una cierta relación de semejanza entre sí. Esta relación de semejanza entre cosas diferentes ofrece una vía útil para que la adquisición de nuevos conocimientos se vaya desarrollando sobre la base de aquellos que ya se han aprendido, ya que la analogía funciona, en algunos casos, como un modelo.

En otros, las analogías cumplen el mismo propósito que los ejemplos en el proceso de aprendizaje, que consiste en hacer familiar lo que hasta entonces es desconocido. No obstante, las analogías se diferencian de los ejemplos en que aquellas presentan comparaciones explícitas entre las estructuras relevantes del dominio conocido y del dominio desconocido, mientras que los ejemplos ilustran las características de un concepto o sirven como muestra del mismo en un dominio familiar (Treagust, 1992).

Ahora bien, como señala González (1997, pág.13): *“Para ayudar a los estudiantes en sus esfuerzos constructivos, los ejemplos deben ser comprensibles y viables para el propio sujeto y no solamente para el profesor y el autor del libro de texto”*.

Las analogías, los símiles y las metáforas también han sido, y siguen siendo, comúnmente utilizados por los profesores como herramientas facilitadoras del aprendizaje ya que forman parte de la retórica del profesor. Al igual que las analogías, los símiles son comparaciones explícitas entre hechos o estructuras de dos dominios. En el símil se mencionan los dos sistemas que se comparan, pero no se especifican los detalles de los elementos de cada uno que se están relacionando. Por ejemplo: *“El átomo es como una especie de sistema solar en miniatura”*. Pero, ¿por qué? Esto no está detallado. En cambio, las metáforas son comparaciones implícitas. Son un instrumento del lenguaje en el que se sustituye un elemento del objeto por otro del análogo, utilizando para ello una relación de identidad en un sentido figurado, pero no se dan más detalles ni referencias acerca de las relaciones exactas que conforman la analogía implícita a la que se están refiriendo. Por ejemplo: *“Los electrones son los planetas del átomo”* (Oliva et al, 2001).

Basta echar un vistazo a la historia de la ciencia para encontrar numerosos ejemplos de la importancia de tales figuras retóricas en el desarrollo del pensamiento y de los conceptos científicos, como en el modelo del átomo de Thomson similar a un “budín con pasas”, o el “sistema planetario” para el átomo de Bohr, o la teoría de Huygens sobre la luz, basada en la teoría de las ondas sonoras, o la teoría de Fourier, o el ciclo de Carnot basados en la analogía del flujo del agua (Duit y Wilbers, 2000), para mencionar sólo unos cuantos. En todos estos casos, el acierto de la analogía hace que tenga la función de un modelo.

Las analogías, además, parecen ser útiles para codificar y organizar el nuevo conocimiento, para acceder y recuperar información previamente almacenada en la memoria, para generar conflictos cognitivos mediante nuevos marcos conceptuales que permiten superar concepciones erróneas y crear nuevos esquemas representacionales. Permiten transferir de una forma más dinámica lo que es semejante y útil de un dominio conocido a uno desconocido, para que este último pueda ser integrado a la base de conocimientos del sujeto (González, 1997).

Todo parece indicar que la analogía permite una mayor comprensión y recuerdo de la información nueva. Hace la información más recuperable aumentando el recuerdo que tenemos sobre los conceptos (Vosniadou y Schommer 1988; Reynolds y Ortony, 1980, citados por González, 1997).

La explicación por analogías establece las semejanzas entre ambos dominios, pero también establece las diferencias, lo cual permite a los sujetos construir los límites de semejanzas entre las situaciones (Carey, 1985, citada por González, 1997). Sin embargo, la analogía puede llegar a ser un “arma de doble filo” y es necesario dejar muy claro hasta dónde llega la analogía. En ocasiones se hacen transferencias negativas de uno a otro dominio que conducen a conclusiones erróneas. De aquí que existan defensores y detractores del uso de tal tipo de estrategia en el aula. No obstante, investigaciones como las de Duit (1991) y Dagher (1995b), proponen que más que discutir si las analogías son útiles o no en la enseñanza, lo que se debe analizar son las condiciones en las cuales el uso de las analogías puede ser optimizado desde el punto de vista didáctico.

Acerca del razonamiento analógico, Duit y Wilbers (2000) manifiestan que si bien es cierto que las investigaciones en psicología cognitiva y en didáctica de las ciencias han mostrado que las analogías pueden ser unas buenas herramientas en el aprendizaje de las ciencias. También se ha encontrado, en muchos casos, que el aprendizaje por analogías ha fracasado. Algunos aspectos claves acerca del razonamiento analógico recopilados por estos autores muestran que:

- 1.- El uso de las analogías es espontáneo.

- 2.- Las analogías presentadas en los libros de ciencias y en las clases necesitan de una guía considerable.
- 3.- El uso de múltiples analogías puede ser a veces conveniente si el dominio objetivo es muy amplio.
- 4.- El acceso a las analogías se hace a través de las semejanzas superficiales.
- 5.- El objetivo debe ser realmente difícil para que se requiera una analogía
- 6.- Las representaciones visuales de los análogos pueden facilitar el aprendizaje.
- 7.- El dominio base debe ser familiar para el estudiante.

Duit y Wilbers (2000) plantean de una manera muy concreta las funciones que debe cumplir una analogía:

- 1.- Una función educativa, cuando un profesor o un libro de texto presenta una analogía con un propósito educacional.
- 2.- Una función heurística, cuando el aprendiz intenta hacer uso de la analogía provista.
- 3.- Una función explicativa, cuando los investigadores analizan la interacción entre las funciones educativa y heurística desde la perspectiva de su metanivel.

Por su parte, Ortony (1975), citado por González (1997), plantea que las analogías pueden cumplir distintas funciones en el ámbito educativo:

- 1.- pueden utilizarse como un conjunto compacto de instrucciones para reconstruir la experiencia de los sujetos;
- 2.- permiten expresar algunas experiencias difíciles de describir en términos puramente lingüísticos sin tener que recurrir a una descripción literal que resultaría difícil;
- 3.- son un medio de comunicación vivo cercano a nuestra experiencia perceptiva, cognitiva o emocional.

Los trabajos de Ahn et al. (1992) resaltan que la adquisición del conocimiento nuevo se produce a partir de la relación que seamos capaces de establecer entre los conocimientos previos del sujeto y el nuevo conocimiento, y esta es la esencia de la analogía.

Por su lado, Zook y DiVesta (1991), han encontrado que los sujetos que aprendieron por analogías sin conocer su objetivo instruccional, generaron más inferencias erróneas que aquellos que sí lo conocían. Es decir que, al introducir una analogía en clase, es necesario saber y conocer de antemano el propósito de la analogía si se quiere producir un cambio conceptual.

Modelo didáctico analógico

Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), por su parte, presentan su modelo didáctico analógico, que se construye basado en el conocimiento profundo de lo que se quiere enseñar, la abstracción de los conceptos nucleares y de las relaciones funcionales entre tales conceptos, y su posterior traducción a una situación familiar para el estudiante, ya sea tomada de la vida cotidiana o de la ficción.

Los autores describen la estrategia didáctica para poner su modelo en práctica en el salón de clases en tres momentos bien definidos.

En primer lugar, se expone la analogía, que los autores denominan modelo didáctico analógico (MDA), y los estudiantes formulan hipótesis acerca de qué, por qué, cómo y cuándo ocurren diferentes fenómenos en el análogo, de lo cual dejan un registro escrito. Todas estas situaciones se relacionarán después con contenidos, procedimientos y lenguaje de la ciencia erudita.

En segundo lugar, se introduce el concepto o tema propio de la ciencia erudita, utilizando el lenguaje científico apropiado para el nivel de escolaridad. En este paso, los estudiantes plantean nuevas hipótesis que relacionan el modelo didáctico analógico con el modelo científico, identificando sus semejanzas y diferencias.

Por último, los estudiantes han de hacer un detallado y riguroso análisis para explicitar las transposiciones realizadas entre los dos dominios. Según manifiestan los autores, este momento, el de la metacognición, es el más importante del proceso, ya que representa la toma de conciencia del estudiante del salto cognitivo que ha logrado en el tema, y le

permite además reforzar su conocimiento sobre el modelo original. Esta última característica se conoce como la condición de reversibilidad de las analogías, que fortalece el conocimiento tanto del objetivo como del análogo.

Modelo de Duit y Wilbers

Con la premisa de que las analogías constituyen un primer paso en el largo camino de la construcción de las estructuras del conocimiento científico, Duit y Wilbers (2000, pág. 17) proponen, a través de un diagrama, un modelo de razonamiento analógico que parte de la presentación inicial de la analogía.

Los autores manifiestan que, a pesar de que muchos libros de texto y muchos profesores proveen analogías en las que sobresalen las características superficiales, estas tienen menos poder de inferencia que aquellas que tienen una semejanza estructural entre análogo y objetivo.

Analogías puente

Clement (1993), por su lado, propone el uso de las analogías como puente entre una idea inicial (que también puede ser una analogía) que actúa como anclaje, y el concepto final que se quiere enseñar. El autor plantea que muchas veces las concepciones previas de los estudiantes están bastante acordes con la teoría, y por lo tanto pueden ser utilizadas para anclar los nuevos conceptos.

Esta analogía se propone cuando la idea primera comparte muy pocas semejanzas con el objetivo final. Entonces la segunda analogía, o analogía puente, ayuda a completar la comprensión, disminuyendo la brecha entre ambos, como dice el autor.

La diferencia entre los modelos explicativos y una analogía consiste en que aquellos son imágenes de mecanismos que pueden aplicarse en muchos casos. Generalmente se construyen durante el proceso de instrucción y van más allá de la simple asociación con una situación familiar. Además, tampoco representan la abstracción de los fenómenos

observados, sino de sus modelos imaginados, como por ejemplo, cuando se describe un enlace químico como masas unidas a través de un resorte.

Ahora bien, es muy importante asegurarse de que los análogos escogidos sean suficientemente familiares para el estudiante y no sólo para el profesor. Por lo tanto, es muy importante que sean los mismos estudiantes quienes encuentren y evalúen las semejanzas entre análogos y objetivos.

Nuestra propuesta para el uso de las analogías en el aula está basada en el esquema propuesto por Jorba y Sanmartí (Sanmartí, 2000, pág. 103), que indica las etapas en el proceso de aprendizaje de acuerdo al modelo constructivista (Figura 8). De acuerdo con tal esquema, se parte de lo más simple y concreto hasta los más abstracto y complejo, para llegar finalmente a la aplicación concreta de lo complejo. Esta secuencia está también presente en el MCCE (Izquierdo et al.1999).

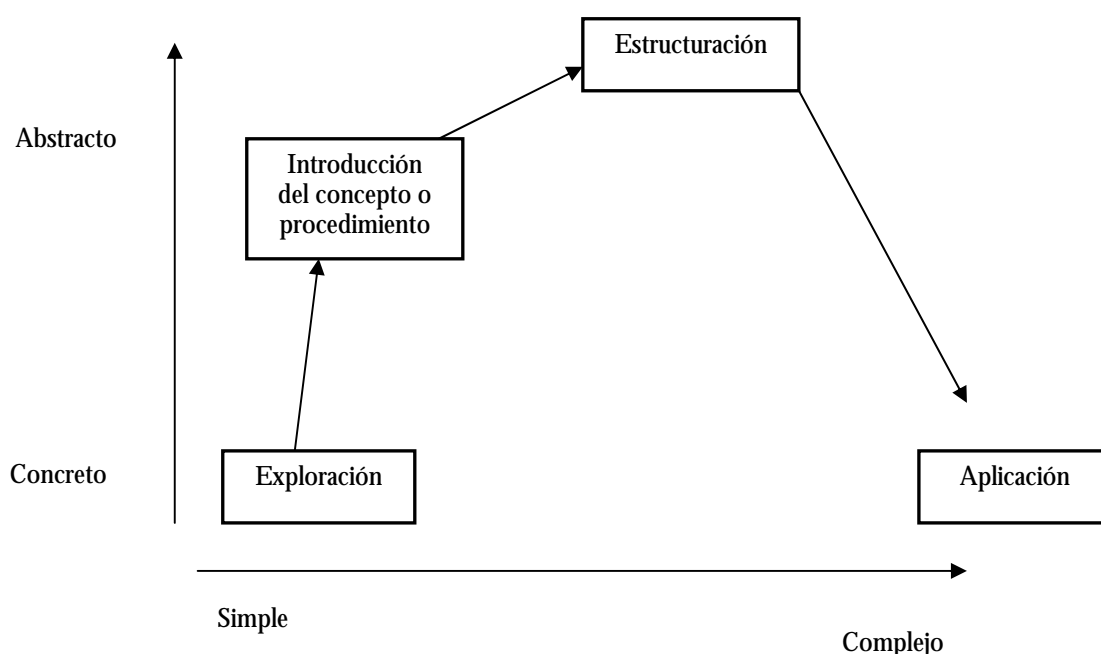


Figura 8

De acuerdo con la investigación realizada respecto al uso de las analogías en los cursos de química en la Universidad del Valle (Linares, 2002) sugerimos el siguiente orden de presentación: analogía y objetivo y, posteriormente, su correlación y aplicación del nuevo concepto, muy parecido al diagrama de Jorba y Sanmartí. Es decir, proponemos presentar primero la analogía, que es lo más simple y concreto, luego presentar el nuevo concepto, después buscar las semejanzas y extrapolar las propiedades del análogo al objetivo, etapa que, a mi modo de ver, representa la máxima abstracción y finalmente, aplicar el nuevo concepto a un caso particular (Figura 9).

En este aspecto, esta secuencia es similar a la del modelo didáctico analógico de Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001).

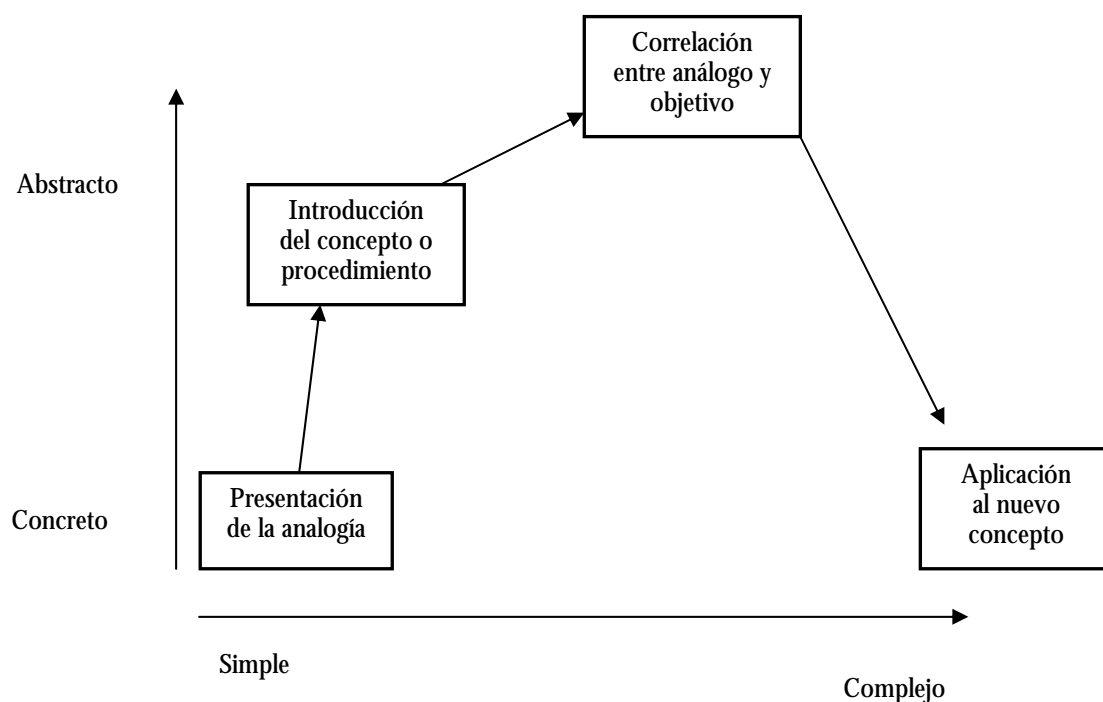


Figura 9

En síntesis, consideramos que las analogías son un buen puente para acercar el nuevo conocimiento a lo que el estudiante ya conoce y le resulta familiar. Además, como afirma Solsona (1997) en su tesis, siguiendo las ideas de Harrison y Treagust (1996), sin el uso de modelos analógicos que ayuden a la comprensión de los fenómenos químicos,

la enseñanza de la química podría verse reducida a una simple descripción de las propiedades macroscópicas de las sustancias y de sus cambios y será muy difícil acceder a los razonamientos abstractos que la caracterizan..

Capítulo 3

Metodología

1. Diseño de la investigación

Considero que en esta investigación cualitativa el primer sujeto cuestionado he sido yo misma, pues a lo largo de ella he estado repensando y replanteando mis concepciones y puesta en práctica alrededor del estudio y la enseñanza de la tabla periódica y las propiedades periódicas. De ahí que las hipótesis de este trabajo estén muy relacionadas, en primera instancia, con mi propia experiencia en el quehacer docente. Ahora bien, con el fin de comprobar o rebatir la validez de las mismas, requería de la colaboración de mis colegas. Pienso que el contar con el aporte de dos colectivos similares en formación pero en diferentes ambientes culturales pueden dar una mayor credibilidad y transferibilidad a los resultados que se obtengan. Por último, es importante señalar que la información que se busca tiene un interés mucho más cualitativo que cuantitativo, puesto que lo que importa no es conocer el número de profesores o profesoras que prefieren una u otra línea de presentación de la tabla periódica, sino que finalmente todos podamos construir, con el aporte de todos, una mejor manera de enseñar un tema tan fundamental en Química General.

Este trabajo implicó, como ya se dijo, tres investigaciones paralelas: una con profesores y profesoras de Química General de la Universidad del Valle y de la Universidad Autónoma de Barcelona, otra de la revisión de los textos de Química General universitaria desde

finales del Siglo XIX hasta hoy, y una tercera referente al seguimiento del desarrollo de la tabla periódica en el Journal of Chemical Education. Todas estuvieron acompañadas de una permanente búsqueda de literatura de interés a través de las bases de datos y las lecturas recomendadas.

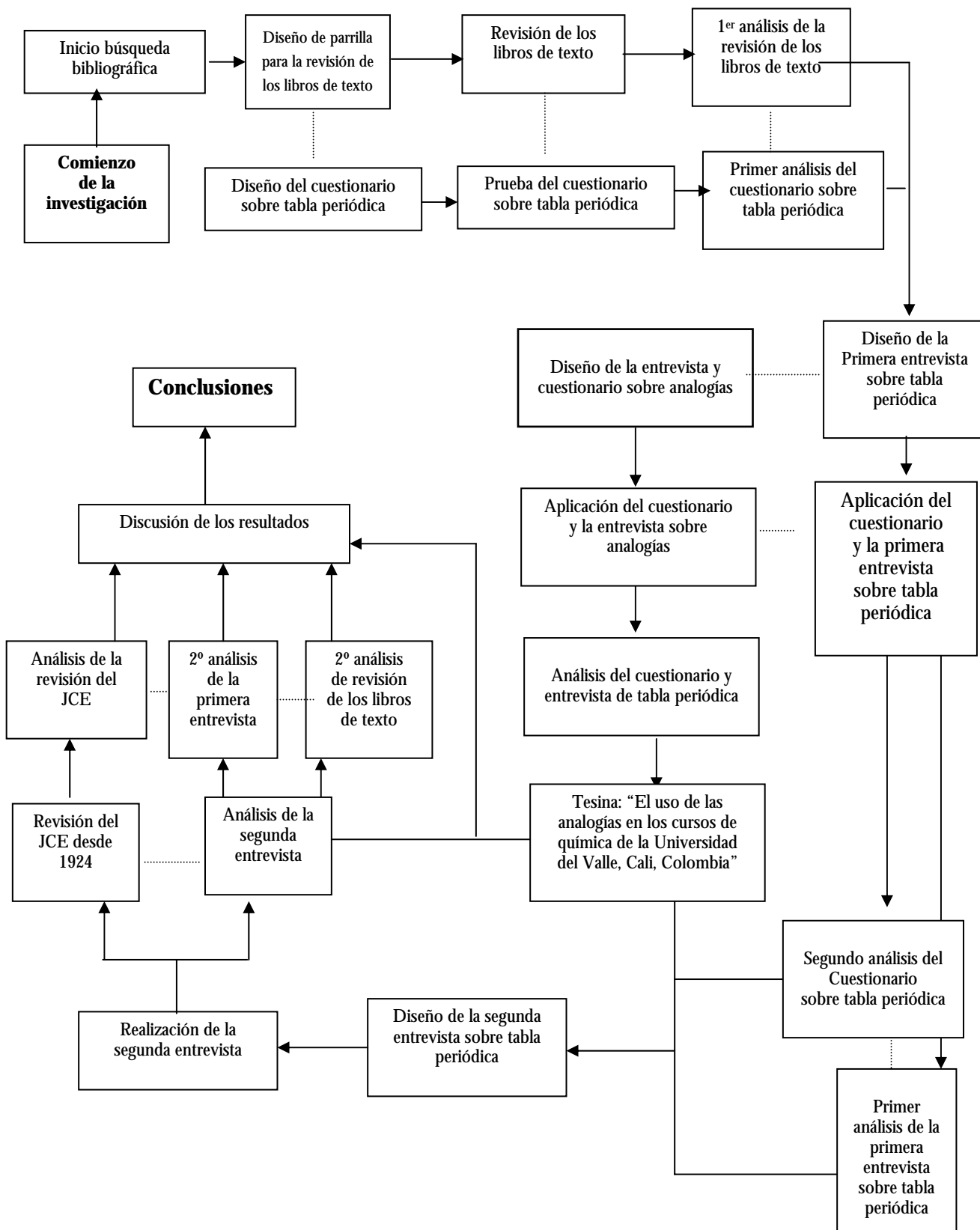
Cada uno de estos frentes se investigó con distintos instrumentos y estrategias que serán detallados más adelante. Sin embargo, a pesar de constituir tres fuentes independientes de datos, las tres están íntimamente relacionadas entre sí. Como gran parte de las investigaciones sobre el pensamiento de los profesores (Zohar, 2004), esta se basó en métodos cualitativos, como cuestionarios abiertos y de respuestas cortas, entrevistas, reflexiones a viva voz y la estimulación de los recuerdos.. La red 1 esquematiza el camino recorrido desde el comienzo de esta investigación hasta llegar a nuestras conclusiones.

2. Ámbito de la experiencia

Los datos de esta investigación se recogieron en el Departamento de Química de la Universidad del Valle, en la ciudad de Cali en Colombia, en dos etapas. La primera durante los meses de febrero y marzo del 2002 y la segunda durante los meses de abril y mayo del 2003. Además participaron en esta investigación tres profesores del Departamento de Química de la Universidad Autónoma de Barcelona, España. Con ellos las entrevistas tuvieron lugar en diciembre del 2002 y en junio del 2003.

El Departamento de Química de la Universidad del Valle, adscrito a la Facultad de Ciencias, se fundó a principios de los años cincuenta, con profesores que en su mayoría provenían de la Facultad de Ingenierías, en particular del área de Ingeniería Química.

El recién creado departamento tenía a su cargo, además de los cursos de química ofrecidos para toda la Universidad del Valle, la formación de Técnicos en Laboratorio Químico, un



Red 1

programa de nivel de formación intermedia de tres años, y los llamados “químicos puros”, en un programa profesional de cuatro años.

Algunos de los primeros egresados del programa de Química se fueron becados a hacer sus estudios de doctorado en química (orgánica, inorgánica, fisicoquímica, química teórica y analítica) en el extranjero, y regresaron en los primeros años de los setenta a engrosar el cuerpo docente del departamento.

Durante esta misma década, el departamento optó por contratar como docentes a químicos recién egresados de su programa académico y darles a la vez la oportunidad de continuar sus estudios en el Magister en Química, dependiente también del departamento, e iniciado hacia 1975 y, posteriormente, completar sus estudios de doctorado fuera del país. De esta manera se dio mi vinculación a la Universidad del Valle en octubre de 1975.

Hoy en día, el departamento sigue teniendo a su cargo la casi totalidad de los cursos de servicios de química en toda la Universidad, y además maneja los programas de Tecnología Química, Especialización en Tecnología Química, Química, Magister en Química y Doctorado en Química.

Sin incluir los profesores que estamos fuera del país, la planta profesoral de nuestro departamento está constituida por cinco profesoras y catorce profesores. Quince tienen título de doctorado, uno es candidato a doctor, dos tienen título de maestría y uno es químico. De ellos, ocho han ejercido la docencia por más de veinte años, seis, por más de 15 y cinco, durante los últimos cinco años.

En esta investigación sobre la enseñanza de la tabla periódica participaron los diez profesores que suelen tener a su cargo cursos de química general. Además, entrevisté a un profesor jubilado, una profesora por contrato y una estudiante del doctorado de química de nuestro departamento, que a su vez es profesora de química en otra universidad. Quiero aclarar que tanto los profesores como las profesoras serán denominados *profesores*, con el fin de mantener en reserva su identidad pero no por ninguna discriminación de género.

Coincidentalmente, durante los dos períodos en que se realizó la investigación, la universidad estaba en “asamblea permanente”, lo cual significa que, aunque los profesores iban diariamente a sus puestos de trabajo, no había clases. Por esta razón, no se pudo realizar ninguna observación directa en el aula. A lo largo de la redacción de este trabajo me he dado cuenta de lo importante que hubiese sido poder contar con la observación en clases además de las entrevistas y los cuestionarios, ya que no es lo mismo que un profesor le cuente a una colega lo que suele hacer en clase que lo que realmente hace frente a sus estudiantes. Por esto reitero que todo cuanto aquí se ha consignado corresponde a lo que los profesores dicen que hacen o lo que piensan que se debe hacer, pero no corresponde a la evidencia de una práctica constatada por la investigadora.

Al revisar las entrevistas se observa la versatilidad en el trato con mis compañeros y compañeras, ya que la entrevista se planteó con un respetuoso tratamiento de “usted”, sin embargo, la familiaridad entre nosotros hizo que muchas veces los tuteara o en los casos de mayor confianza nos tratáramos de “vos”, tan común entre nosotros. Esto está de acuerdo a lo expresado por Joan Bliss en su conferencia sobre el manejo de la investigación cualitativa, realizada en la Universidad Autónoma de Barcelona en abril del 2002, en cuanto a que mientras más personalizado sea el trato, aunque se trate de las mismas preguntas, más confiable y replicable será la entrevista (Bliss, 2002). Otra anotación importante, tanto para las entrevistas sobre la tabla periódica como en la del uso de las analogías, es que muchos de nosotros hemos trabajado juntos por muchísimos años, hemos preparado materiales didácticos, asistido a seminarios y compartido cursos, por lo cual algunas respuestas eran muy breves o alusivas a situaciones o ejemplos conocidos. Hago aquí esta acotación porque más adelante se encuentran, por ejemplo, analogías aparentemente incompletas, debido precisamente a que quien las está describiendo da por supuesto que yo ya conozco mucho de lo que me está diciendo y, por tanto, pasa muchas cosas por alto que, seguramente, con sus estudiantes noveles no omitiría.

Debo señalar que este trabajo recoge de alguna manera el conocimiento profesional del profesor respecto a la manera como cada uno se refiere a la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales. Sin embargo, como ya lo hemos manifestado anteriormente, no nos detendremos a distinguir entre concepciones, creencias, etc. en las manifestaciones que

hemos recogido, ni los discriminaremos en el análisis y tratamiento de datos que sigue a continuación.

En cuanto a los tres profesores de la Universidad Autónoma, los tres son doctores en Química, del área de Inorgánica y con más de quince años de ejercicio docente.

El trabajo se inició entonces con dieciséis profesores, a quienes nos referimos, como ya explicamos, en masculino y hemos identificado como Pn. Sin embargo, durante el transcurso de la segunda entrevista P5 solicitó que apagara la grabadora y que suspendiéramos la entrevista. Respetando su deseo de no continuar en la investigación, lo retiramos de ella. De otro lado, con respecto a P14, aunque todo el tiempo fue muy amable al responder las preguntas, evidenciamos que sus respuestas a la última parte de la segunda entrevista no permitían aclarar sus concepciones acerca de los indicadores que habíamos elegido para tipificar los perfiles de los profesores y, por tanto, también lo sacamos de la muestra. No obstante, como se verá en el análisis de la segunda entrevista precisamente, mantuvimos algunos de sus aportes para no tener que rehacer todo el análisis que habíamos adelantado hasta el momento de tomar la decisión de su retiro.

En lo referente a la transcripción de las entrevistas, considero que lo más importante, tanto en este trabajo como en el de las analogías, es su contenido y, por lo tanto, no he seguido ningún código internacional. Sin embargo, he sido consistente con mi propia simbología. Así, los tres puntos iniciales (...) significan que el sujeto venía hablando y tomo su conversación en el momento que me parece que lo que dice es pertinente para la discusión que estoy haciendo, y los tres puntos (...) al final, significan que el sujeto continuó hablando. Tres puntos (...) en el medio de un texto, representan una pausa y tres puntos entre corchetes [...] representan la omisión de parte del texto por no ser relevante en lo que se está tratando. Finalmente, he empleado las negrillas para resaltar alguna palabra o idea importante directamente relacionada con un aspecto en particular muy concreto. Por esta razón, es posible que en un mismo párrafo aparezcan resaltadas, en distintos momentos, diferentes partes del texto, dependiendo del tema que se esté discutiendo en cada caso.

3. Recogida de datos y metodología del análisis

Del saber sabio al saber enseñado

Tomando las palabras de Chevallard (1991), consideramos que, independientemente del orden cronológico en que fueron recogidos los datos de nuestra investigación, el análisis y tratamiento de los mismos debe hacerse siguiendo la secuencia en que se da la transposición didáctica, del saber sabio al saber enseñado.

Partimos de la base que esta es una investigación cualitativa cuyo objetivo es la descripción, en primer lugar, del análisis de la evolución histórica de la interpretación de la tabla periódica a través de una publicación periódica relevante en el ámbito de la enseñanza de la química, como lo es el Journal of Chemical Education. En segundo lugar, del análisis evolutivo de la presentación de la tabla periódica en los libros de texto y, finalmente, de la manera como se refieren los profesores de química general a la tabla periódica como objeto de enseñanza.

Por esta razón, hemos organizado el análisis y tratamiento de los datos de la siguiente manera:

1.- La tabla periódica en la literatura científica:

- Revisión de los artículos más relevantes que aparecen bajo los indicadores de “tabla periódica” y “elemento químico” en el Journal of Chemical Education a partir del primer volumen publicado en 1924 hasta agosto del 2003.

2.- La tabla periódica en los libros de texto.

- El libro “Principios de Química” de Dimitri Mendeleiev, publicado a finales del siglo XIX, en el cual plantea su ley periódica.
- El libro “The periodic table of the elements”, publicado en 1990.
- 6 libros de Química publicados entre 1884 y 1955.
- 27 libros de Química General editados a partir de 1967 y frecuentados por profesores y estudiantes universitarios.

3.- La tabla periódica según los profesores de química general.

- Un cuestionario semiabierto sobre la enseñanza de la tabla periódica.
- Primera entrevista sobre la enseñanza de la tabla periódica en los primeros cursos universitarios: Hacia la identificación de los objetivos.
- Segunda entrevista sobre tabla periódica. Hacia la determinación de las visiones
- Un cuestionario semiabierto y una entrevista sobre el uso de las analogías en los cursos de Química en la Universidad como herramienta didáctica en la transposición.

3.1. El Journal of Chemical Education

Una de las fuentes de datos de esta investigación la constituyó la revisión de los artículos más relevantes sobre la tabla periódica publicados en el Journal of Chemical Education a partir de 1924.

En realidad, excepto por las publicaciones referentes al concepto elemento y a la historia de la tabla periódica de Bensaude-Vincent, sola o en compañía de Stengers, que nos llevaron a las de Thibault et al. (1994) y a las de Pacault, las de Furió et al. respecto a los conceptos elemento y sustancia simple, y las propuestas para la enseñanza de la tabla periódica en secundaria de Albadalejo et al.(1982) y de Brincones y García (1987), la casi totalidad de la bibliografía de nuestro interés provenía del Journal of Chemical Education.

Así, lo que comenzó siendo una revisión bibliográfica normal dentro de toda investigación se constituyó en una pieza fundamental de la misma. No nos queda la menor duda, además, que el JCE, es una revista de prestigio internacional, especializada en la enseñanza de la química y con una antigüedad suficiente para permitirnos seguir los avances científicos más importantes en el establecimiento del modelo atómico que hoy conocemos, tan estrechamente relacionado con la evolución de la tabla periódica a lo largo del siglo XX.

Los más de cien artículos encontrados bajo los indicadores “tabla periódica” y “elemento químico” en relación con la tabla periódica, fueron leídos, resumidos y clasificados de acuerdo a su relación particular con el concepto elemento o con la tabla periódica.

3.2. Los libros de texto

Dentro del proceso de transposición didáctica (Chevallard, 1991) los libros de texto suelen ser el puente más utilizado entre el saber sabio, presente en la literatura científica, y el saber enseñado en las aulas. Su importancia radica no sólo porque muchos currículos se basan en ellos, o porque la gran mayoría de los profesores se apoyan en ellos para la preparación de sus clases y de sus evaluaciones, sino porque muchas veces los estudiantes acceden directamente a ellos sin la mediación del profesor.

Por esta razón consideramos importante incluir en esta investigación una revisión de los libros de texto de química general universitaria comúnmente utilizados en la Universidad de Valle y en la Universidad Autónoma de Barcelona.

La muestra a estudiar, un total de 27 libros publicados a partir de 1967, se seleccionó teniendo en cuenta los textos recomendados en los programas de Química General a lo largo de los últimos 25 años en la Universidad del Valle y aquellos a los cuales tienen acceso los estudiantes de la Universidad Autónoma de Barcelona, en las bibliotecas de Ciencias e Ingenierías que son, en la práctica, los mismos que tienen a su disposición los estudiantes de la Universidad del Valle en la biblioteca central de su universidad en Cali, Colombia, sin necesidad de tener que comprarlos.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la bibliografía escogida para este estudio, en orden alfabético de los autores, fue la siguiente:

1. AMIEL, J. (1969), *Cours de chimie*, Paris, Collection Dunod université, 1ª edición
2. ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968), *Química fundamental*, México, Limusa – Wiley S.A., 2ª edición

3. ATKINS, P., JONES, L. (1998), *Química: moléculas/ materia/ cambio*, Barcelona, Omega, 3ª edición
4. ATKINS, P.W. (1989), *General Chemistry*, New York, Scientific American Books, 1ª edición
5. BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974), *Química general moderna*, Editorial Marín S.A., 8ª edición
6. BARROW, G. (1974), *Química general*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
7. BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977), *Química general* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
8. BRADY, J., HUMISTON, G. (1985), *Química básica: principios y estructura*, México, Limusa – Wiley, 2ª edición en inglés, 2ª reimpresión de la 1ª edición en castellano
9. COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993), *Química: estructura de la materia*, Barcelona, Biblioteca universitaria, Enciclopedia Catalana, 1ª edición
10. CHANG, R. (1992), *Química*, México, Mc Graw Hill, 4ª edición
11. CHRISTEN, H.R. (1977), *Fundamentos de la química general e inorgánica*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
12. GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969), *Principios básicos de química*, Barcelona, Reverté, S.A., 1ª edición
13. GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHEYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990), *Química* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
14. LONGO, F.R. (1974), *Química general*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición
15. MAHAN, B.H. (1977), *Química, Curso universitario*, México, Fondo educativo interamericano S.A., 3ª edición en inglés, 2ª en castellano
16. MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984), *Introduction to chemistry*, Philadelphia, CBS College publishing, 1ª edición
17. MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990), *Química general superior*, Madrid, Mc Graw Hill – Interamericana, 6ª edición
18. METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982), *Química moderna*, México D.F., Interamericana, 1ª edición
19. MORTIMER, C.E., (1983), *Química*, México, Grupo editorial Iberoamérica, traducción de la 5ª edición en inglés

20. PAULING, L. (1967), *Química general, una introducción a la química descriptiva y a la moderna teoría química*. Madrid, Aguilar, 9ª edición
21. PAULING, L. (1980), *Química General*, Madrid, Aguilar, 10ª edición, 1ª reimpresión
22. RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990), *Química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición
23. SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968), *Química general*, México, Limusa-Wiley S.A., 1ª edición
24. USON LACAL, R. (1974), *Química universitaria básica*, Madrid, Alambra, 2ª edición
25. WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985), *Química general*, México, Nueva editorial interamericana S.A. de C.V., 1ª edición
26. WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992), *Química general*, México, Mc Graw Hill, 3ª edición en inglés, 2ª en castellano
27. ZUMDAHL, S.S. (1992), *Fundamentos de química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición

Esta muestra abarca:

5 libros publicados entre 1967 y 1969.

7 libros publicados en la década de los 70's.

7 libros publicados en la década de los 80's.

8 libros publicados en la década de los 90's.

Es interesante anotar en este punto, que aunque ya existen en el mercado ediciones más recientes de algunos de los libros analizados, como los de Chang, Petrucci, y algunos otros, estas últimas ediciones todavía no se encuentran en las bibliotecas de la UAB, como tampoco lo están en las de la Universidad del Valle.

El libro "Principios de Química" de Dimitri Mendeleiev y el libro "The periodic table of the elements" de R.J. Puddephatt y P.K. Monaghan, Oxford Science Publications, 2ª Edición, Oxford, (1990) fueron analizados en profundidad como dos ejemplos paradigmáticos de acceso a la presentación de la tabla periódica, el primero desde el estudio de las propiedades de las sustancias y el segundo desde la estructura atómica.

Para tener una idea de cómo se fue incorporando la tabla periódica a los libros de texto universitario, también fueron revisados en esta etapa:

- La segunda edición del “Compendio de las lecciones de Química General explicadas en la Universidad de Barcelona”, utilizado como texto guía en varias universidades y escuelas superiores, del Doctor Don José Ramón de Luanco, publicado en Barcelona en 1884.
- Las “Conferencias de Química Moderna” editadas en Tortosa en 1909 por el sacerdote jesuita Eduardo Vitoria.
- La sexta edición del libro “Systematic Inorganic Chemistry” de R.M. Caven y G.D. Lander publicado en 1931 en Londres y en Glasgow.
- La primera edición del libro de “Química General” de Linus Pauling (Premio Nobel de Química en 1954) publicado en 1947.
- La segunda edición del libro “Química General” de Linus Pauling publicado en 1953.
- Tercera edición en castellano del libro “Química General” de Linus Pauling publicado en 1955.

La selección de estos 6 libros obedeció a distintos criterios. Para los dos primeros me influyó el hecho de estar realizando esta investigación en Barcelona, España, y por tanto, quise conocer algo de la química que se enseñaba en las universidades españolas finalizando el Siglo XIX y a principios del XX.

El libro *Systematic Inorganic Chemistry* se publicó en los años en que los desarrollos de la mecánica cuántica y los artículos referentes a las relaciones entre la tabla periódica y la estructura atómica estaban en pleno furor.

Finalmente, el libro *Química General* de Linus Pauling marcó el comienzo de una nueva era en los libros de texto de química universitaria, introduciendo en ellos una nueva imagen de átomo y con él, un nuevo carácter a la tabla periódica.

Los libros de textos se revisaron de acuerdo con la parrilla adjunta (Instrumento #1).

Los datos recogidos se resumieron en tablas que permitieron condensar la información de interés para poder hacer un estudio comparativo con las respuestas de los profesores y profesoras de Química General.

Considero importante anotar en este punto que tanto las citas como los comentarios de los libros de texto, los libros de referencia y los artículos de las revistas escritos originalmente en inglés o en francés, han sido traducidos por mí. Por lo tanto, cualquier interpretación equivocada de lo afirmado por cualquiera de los autores citados en esta memoria es exclusivamente de mi responsabilidad.

INSTRUMENTO # 1: PARRILLA DE EVALUACIÓN DE LOS LIBROS DE QUÍMICA

Evaluación de libros de Química							
Título:							
Autor:							
Editorial:							
Edición:							
Ciudad:							
Año:							
Nivel:							
# total de páginas:							
Idioma:							
# de capítulos							
# del capítulo tabla periódica:							
# de páginas Tabla Periódica:							
# ejercicios tabla periódica							
# de los grupos (A y B)							
Propiedades Atómicas	Z*	r	I	AE	polarizabilidad	EN	
Otras Propiedades: sustancia							
Punto de Partida Tabla Periódica:							
# de Capítulos Química descriptiva:							
# Páginas Química descriptiva:							
# ejercicios química descriptiva							
Hace recuento histórico							

Sustancia Simple diferente elemento		Sustancia q no puede dividirse en otras	Consiste en átomos idénticos	Z o # de protones en su núcleo
Define elemento como				
Comentarios				
Contenido				
Cap. #	Nombre			

(Z= número atómico, Z*= carga nuclear efectiva, r=radio, I=energía de ionización, AE= afinidad electrónica, EN= electronegatividad)

3.3. Los profesores

Para recoger los datos relacionados con los profesores se utilizaron el cuestionario y las dos entrevistas sobre tabla periódica que se comentan a continuación. Además incluiremos en este apartado la entrevista y el cuestionario sobre el uso de las analogías, ya que estas constituyen una de las herramientas didácticas utilizadas por los profesores entrevistados para la enseñanza de la tabla periódica y, en particular, para lo referente a las propiedades periódicas.

El análisis de estos datos se realizará alrededor de tres ejes que resumen los objetivos de nuestro trabajo, en cuanto a lo referente a los profesores:

- 1.- ¿Qué **función** asignan a la tabla periódica en un curso de Química General?
- 2.- ¿Qué **visión** tienen de elemento químico?
- 3.- ¿Qué uso hacen de las **analogías** como herramienta didáctica para enseñar tabla periódica y propiedades periódicas?

3.3.1. Hacia la determinación de la FUNCIÓN de la tabla periódica en los cursos de Química General

Para poder determinar la FUNCIÓN que cada profesor asigna a la tabla periódica en sus cursos, nos valimos del cuestionario y de la primera entrevista

3.3.1.1. Instrumentos y estrategias

Primer instrumento: El cuestionario.

El cuestionario fue el primer acercamiento que tuvimos para conocer las ideas de los profesores respecto a qué, cómo y cuándo enseñar tabla periódica en un curso de química general. Al analizar los resultados nos dimos cuenta que había sido demasiado cerrado y conducido; sin embargo, ha servido para triangular datos, observar la coherencia o incoherencia del discurso de los profesores respecto a algunos conceptos como elemento, por ejemplo, y para comparar algunos aspectos con los encontrados en los libros de texto.

Aunque el interés de este trabajo está centrado en los cursos de Química General, en algunas ocasiones nos referimos también a los de Química Inorgánica General. Esto se debe particularmente a que en la UAB ya no existen los cursos de Química General como tal. No obstante, en todos los casos, tanto en el cuestionario como en las entrevistas en las dos universidades, el énfasis se puso en investigar lo que los profesores consideran que se debe enseñar de tabla periódica **por primera vez en un curso general de química**, independientemente del nombre del mismo.

INSTRUMENTO #2: CUESTIONARIO SOBRE TABLA PERIÓDICA A LOS PROFESORES Y PROFESORAS DE LOS CURSOS DE QUÍMICA GENERAL EN LA UNIVERSIDAD DEL VALLE Y LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA

Apreciado profesor o profesora:

Dentro de la investigación que estoy adelantando como estudiante de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas en la Universidad Autónoma de Barcelona sobre la evolución que han tenido el estudio y la enseñanza de la tabla periódica y todo lo que de ella se puede derivar en los cursos de Química General y Química Inorgánica General Universitaria, la colaboración que usted me brinde

Capítulo 3

respondiendo el siguiente cuestionario será de gran valor. La información aquí recogida es de carácter anónimo.

Agradezco de antemano su importante colaboración.

Cordialmente,

Rita Linares

-UNIVERSIDAD: Univalle: _____ UAB: _____
Profesor: _____ Profesora: _____
Área de Formación Académica Principal:
Orgánica: _____ Inorgánica: _____ Físico-química: _____
Analítica: _____ Otra: _____
Último título académico: Licenciatura: _____ Profesional-Químico: _____
Maestría: _____ Doctorado: _____
Ha enseñado Química General y/o Química Inorgánica General a nivel universitario:
Durante los últimos 5 años: _____
Durante los últimos 10 años: _____
Durante más de 15 años: _____
Nombre del curso de primer año universitario en el que enseña Tabla Periódica:
Química General: _____ Química Inorgánica General _____
Química Fundamental: _____
Química I: _____
Otro: _____

De las siguientes definiciones: ¿cuál es la primera que enseña a sus estudiantes de Química General y/o Química Inorgánica General?

- un elemento es una sustancia pura que no puede descomponerse en otras más simples por métodos químicos _____
- un elemento está constituido por átomos idénticos _____
- un elemento está definido por su número atómico _____

De las tres: ¿cuál considera usted más correcta?

- un elemento es una sustancia pura que no puede descomponerse en otras más simples por métodos químicos _____
- un elemento está constituido por átomos idénticos _____
- un elemento está definido por su número atómico _____

¿Considera usted necesario enseñar estructura atómica antes de abordar el tema de tabla periódica?

SI _____ NO _____ ¿Por qué? _____

¿Acostumbra usted a hacer un recuento histórico de los principales hechos que llevaron a la Tabla Periódica?

SI _____ NO _____ ¿Por qué? _____

¿Incluye algo de química descriptiva de las sustancias simples en sus cursos de química general? SI _____ NO _____

¿Por qué? _____

Si su respuesta es afirmativa: ¿qué aspectos enfatiza?

Propiedades físicas _____ Reacciones características _____ Usos _____

¿Qué propiedades periódicas enseña usted en los cursos de química general?

Carga nuclear efectiva _____ radio _____ Energía de Ionización _____ Afinidad Electrónica _____

Polarizabilidad _____ Electronegatividad _____ Otra _____

¿Considera alguna de ellas particularmente importante para la mejor comprensión de las demás? SI _____

NO _____ ¿Por qué? _____

¿Cuál?: Carga nuclear efectiva ___ radio ___ Energía de Ionización ___ Afinidad Electrónica ___
Polarizabilidad ___ Electronegatividad ___ Otra _____

¿Acostumbra a hacer cálculos de carga nuclear efectiva en sus cursos de química general?

Si _____ NO _____ ¿Por qué? _____

Si su respuesta es afirmativa, ¿qué método utiliza?

Slater _____ Clementi y Raimondi _____ otro _____

La tabla periódica condensa en cada uno de sus recuadros una serie de información. De las señaladas en el recuadro a continuación, ¿cuáles considera usted que corresponden al “elemento” y cuáles a la “sustancia simple”?

65.38(6)	1.6(7)
1.38(3)	1.76(8)
906(4)	Zn ⁽¹⁾
	30 ⁽²⁾
7.14(5)	
216 (9)	(Ar)3d ¹⁰ 4s ² (10)

- 1) Símbolo
- 2) Número atómico
- 3) radio (r)
- 4) temperatura de ebullición °C
- 5) densidad g/mL

- 6) peso atómico g/mol
- 7) electronegatividad
- 8) calor de fusión
- 9) primera energía de ionización kcal/mol
- 10) estructura electrónica

Son propiedades del elemento: 1) ___ 2) ___ 3) ___ 4) ___ 5) ___ 6) ___ 7) ___ 8) ___ 9) ___ 10) ___

Son propiedades de la sustancia simple: 1) ___ 2) ___ 3) ___ 4) ___ 5) ___ 6) ___ 7) ___ 8) ___ 9) ___ 10) ___

Las respuestas suministradas por los profesores se tabularon pregunta a pregunta y luego se recogieron en una tabla resumen.

En particular la incoherencia notada en las respuestas a las dos primeras preguntas (Tabla 1) en cuanto a la definición de elemento desde la didáctica (*¿cuál enseña primero?*) y desde la ciencia (*¿cuál considera más correcta?*) fue la primera evidencia de la ambigüedad de ese concepto entre los profesores.

Define elemento como:	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Sustancia que no puede descomponerse	x			x	x		x	x			x	x		
Formado por átomos iguales		x								x				
Definido por Z			x			x		x	x				x	x
Lo enseña por primera vez como:														
Sustancia que no puede descomponerse	x	x			x	x	x	x	x					x
Formado por átomos iguales		x		x							x	x		
Definido por Z			x			x				x	x		x	

Tabla 1

Con esta señal de alerta, revisamos la primera entrevista y comprobamos el uso alternado e indiscriminado de las palabras elemento, átomo y sustancia simple para referirse a las entidades contenidas en la tabla periódica. Esto motivó la segunda entrevista.

Primera estrategia: Primera entrevista sobre tabla periódica.

Con el fin de conocer un poco más a fondo las preferencias de los profesores y profesoras en lo referente al estudio de la tabla periódica en los cursos de Química General se realizó una entrevista semiestructurada..

Los profesores P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10 y P13 a quienes se les realizó la entrevista durante los meses de febrero y marzo del 2002, participaron simultáneamente en la investigación sobre el uso de las analogías en los cursos de química.

El protocolo que aparece a continuación fue el utilizado para las entrevistas de P12, P14, P15 y P16. Este protocolo es básicamente el mismo que se usó con todos los demás profesores, excepto en los literales c, d, e, f de la séptima pregunta, que se adicionaron al original para completar la información requerida sobre el uso de las analogías en el tema de tabla periódica.

**INSTRUMENTO #3: PROTOCOLO DE LA PRIMERA ENTREVISTA A PROFESORES Y
PROFESORAS DE QUÍMICA GENERAL DE LA UNIVALLE Y ALGUNOS PROFESORES Y
PROFESORAS DE QUÍMICA INORGÁNICA GENERAL DE LA UAB**

Apreciado profesor o profesora:

Como estudiante de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Autónoma de Barcelona, estoy adelantando una investigación sobre la evolución que ha tenido la enseñanza de la tabla periódica y todo lo que de ella se puede derivar, en los cursos de Química General Universitaria. La colaboración que usted me brinde será de gran valor. La información aquí recogida es de carácter anónimo.

Agradezco de antemano su amabilidad y su tiempo para concederme esta entrevista.

Cordialmente,

Rita Linares

-UNIVERSIDAD: Univalle: _____ UAB: _____

Profesor: _____ Profesora: _____

Área de Formación Académica Principal:

Orgánica: _____ Inorgánica: _____ Físico-química: _____

Analítica: _____ Otra: _____

Último título académico: Licenciatura: _____ Profesional-Químico: _____

Maestría: _____ Doctorado: _____

Ha enseñado Química General y/o Química Inorgánica General a nivel universitario:

Durante los últimos 5 años: _____

Durante los últimos 10 años: _____

Durante los últimos 15 años o más: _____

Nombre del curso de primer año universitario en el que enseña Tabla Periódica:

Química General: _____ Química Inorgánica General: _____

Química Fundamental: _____

Química I: _____

Otro: _____

1. ¿Cree usted que se podría hacer un curso de Química General sin incluir la tabla periódica? ¿Por qué?
2. ¿Con qué objetivo se debe enseñar la tabla periódica en un curso de química general?
3. ¿Qué cree que se debe enseñar de tabla periódica en química general?
4. ¿Están estos puntos incluidos en el programa de química general que usted enseña?
5. ¿Podría decirme en que orden presenta usted estos temas? ¿Por qué?
6. ¿Incluye algo de química descriptiva en su curso?
 - a. ¿Estudia algún grupo en particular?
 - b. ¿Cuáles?
7. ¿Cómo enseña usted la tabla periódica?
 - a. ¿Qué recursos materiales utiliza?(modelos, videos...)
 - b. ¿Qué recursos metodológicos utiliza?(resolución de problemas, analogías...)
 - c. En particular, ¿acostumbra usted usar analogías?
 - d. ¿Para qué usa las analogías en su clase?
 - e. ¿Suele utilizarlas antes, durante o después de explicar el concepto o el tema?
 - f. ¿Me podría mencionar algunos ejemplos?
8. ¿El curso que usted enseña tiene alguna práctica de laboratorio sobre la tabla periódica?
9. Al preparar el tema de Tabla periódica, ¿qué opciones se ha planteado para enseñarlo?
 - a. ¿Cuál le parece más apropiada?
10. El conocimiento científico hace parte de la cultura humana. A su modo de ver, ¿qué otros conocimientos, distintos a los químicos, cree usted que podrían enseñarse a través de la tabla periódica?
11. ¿Qué le parece más sobresaliente del trabajo de Dimitri Mendeleiev?

3.3.1.2. Diseño del análisis

Tal como se acaba de manifestar, la primera revisión de esta primera entrevista corroboró la incoherencia observada en el cuestionario respecto al concepto elemento y la polisemia y ambigüedad tan discutida en la literatura (Menschutkin, 1937; Roundy, 1989; Bullejos et al. 1995; Bensaude-Vincent, 1994b; Thibault, 1994). Como se ve en la tabla 2, P1, P2, P4, P7, P11, P15 y P16 se refieren a elemento, átomo y sustancia simple; P3, P12 y P13 sólo hablan de elementos y átomos, mientras que P8 y P10 sólo lo hacen de elementos y sustancias y P9 únicamente mencionó el elemento.

Primera entrevista	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Elementos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Átomos	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x
Sustancia (macro, materiales, lo que se ve, lo concreto)	x	x		x		x	x		x	x			x	x
Ley	x									x				
Capas	x	x												
Modelos	x	x				x				x				
Propiedades electrónicas		x												
Periodicidad	x					x		x						
Configuración electrónica		x			x					x				x
Tendencias	x	x				x								x
Símbolos							x					x	x	
Reacciones químicas	x	x	x		x	x	x			x			x	x
Estructura electrónica														
Propiedades periódicas	x		x	x			x	x		x			x	x
Compuestos	x	x	x	x						x		x	x	x
Propiedades (de átomos)	x			x										
Estructura atómica						x			x	x			x	x
Abundancia													x	x
Niveles/subniveles				x						x				

Tabla 2

Una vez realizada la segunda entrevista y después de 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, volvimos a mirar la primera entrevista “con otros ojos”.

La entrevista se analizó, discutió y tabuló pregunta a pregunta. El análisis de las respuestas a las dos primeras preguntas marcaron el derrotero de la primera clasificación de los

profesores en tres grupos de acuerdo a la FUNCIÓN que cada uno asigna a la enseñanza de la tabla periódica en su curso. Estas funciones se resumen en la tabla 3.

La correlación de las tablas de respuestas consolidó la determinación de las funciones. Estas funciones, como se verá más adelante, están relacionadas directamente con la lectura que los profesores hacen de la tabla periódica como una inscripción global.

Funciones	1.- Didáctico						2.- Organizativo				3.- Macro			
	P1	P2	P3	P6	P10	P12	P7	P8	P9	P13	P4	P11	P1	P1
¿para qué?	Entender y enseñar química						Organizar y sistematizar la información				Conocer los elementos para explicar lo "macro"			
												5	6	

Tabla 3

3.3.2. Hacia la determinación de la VISIÓN de elemento químico

La VISIÓN de elemento de cada profesor se determinó mediante el análisis de las tres últimas preguntas de la segunda entrevista.

3.3.2.1. Instrumentos y estrategias

Segunda estrategia: Segunda entrevista sobre tabla periódica.

Como hemos mencionado, fue necesario preguntar más explícitamente a los profesores qué significaban para ellos los conceptos elemento, átomo y sustancia simple para poder hacer una mejor interpretación de sus planteamientos. En este sentido se diseñó la segunda entrevista, en particular sus tres últimas preguntas.

El protocolo de la segunda entrevista que aparece a continuación fue el que se utilizó con los dieciséis profesores participantes. Como ya se explicó anteriormente, la entrevista con P5 se suspendió por solicitud expresa de él.

INSTRUMENTO #4: PROTOCOLO DE LA SEGUNDA ENTREVISTA A PROFESORES Y PROFESORAS DE QUÍMICA GENERAL DE LA UNIVALLE Y ALGUNOS PROFESORES Y PROFESORAS DE QUÍMICA INORGÁNICA GENERAL DE LA UAB

Apreciado profesor o profesora:

Como estudiante de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Autónoma de Barcelona, estoy adelantando una investigación sobre la evolución que ha tenido la enseñanza de la tabla periódica y todo lo que de ella se puede derivar, en los cursos de Química General y Química Inorgánica General Universitaria. La colaboración que usted me brinde será de gran valor. La información aquí recogida es de carácter anónimo.

Agradezco de antemano su amabilidad y su tiempo para concederme esta entrevista.

Cordialmente,
Rita Linares

UNIVERSIDAD: Univalle: _____ UAB: _____ otra: _____
Profesor: _____ Profesora: _____
Área de Formación Académica Principal:
Orgánica: _____ Inorgánica: _____ Físico-química: _____
Analítica: _____ Otra: _____

Último título académico: Licenciatura: _____ Profesional-Químico: _____
Maestría: _____ Doctorado: _____

Ha enseñado Química General y/o Química Inorgánica General a nivel universitario:

Durante los últimos 5 años: _____
Durante los últimos 10 años: _____
Durante los últimos 15 años o más: _____

Nombre del curso de primer año universitario en el que enseña Tabla Periódica:

Química General: _____ Química Inorgánica General _____
Química Fundamental: _____
Química I: _____
Otro: _____

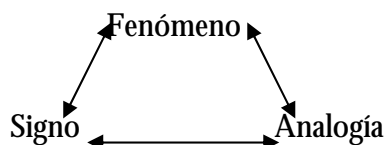
- 1.- ¿Qué le sugiere cada uno de estos formatos de la tabla periódica?
- 2.- ¿Cuál le gusta más?
- 3.- Si fuera a explicar algo de tabla periódica a alguien que sabe poca química, ¿Cuál de estos formatos escogería? ¿Por qué?
- 4.- Con esa tabla periódica en la mano, ¿qué le explicaría? ¿sobre qué le hablaría?
- 5.- ¿Cree que podría utilizar alguno de los otros formatos para explicar algún tema en particular?
- 6.- ¿qué analogías considera usted que están “encerradas” en la tabla periódica?
- 7.- Aparte de las analogías que ya mencionó en la entrevista anterior, ¿Hay otras que le parezcan apropiadas para “extraer” la información de la tabla periódica?
- 8.- ¿Me podría facilitar, por favor, tres preguntas sobre Tabla periódica para elaborar un examen de química general?
- 9.- ¿por qué ha escogido usted esas preguntas?
- 10.- ¿Podría, por favor, definirme lo que es para usted un elemento?
- 11.- ¿Considera usted que es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?
- 12.- ¿Cómo definiría cada uno de esos conceptos?

Esta segunda entrevista buscaba llenar los vacíos que habíamos encontrado en el cuestionario y en la primera entrevista. Por una parte, nos 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 parte, queríamos saber un poco más sobre lo que los profesores “ven” en la tabla periódica y tener una nueva fuente de datos para triangular lo que ya habían manifestado en otras oportunidades acerca de lo que cada uno consideraba más relevante en la tabla periódica. Para lograr estos objetivos se les presentaron a los profesores los siete formatos de tabla periódica que se muestran más adelante. Efectivamente, como anotaron algunos de ellos, los primeros cinco son bastante antiguos y no tienen la nomenclatura actualizada e incluso en algunos faltan los últimos elementos integrados a la tabla periódica, pero ese era precisamente uno de los objetivos que se perseguía, que los profesores observaran, criticaran y se manifestaran respecto a lo que hay o debe haber en la tabla. El formato seis es un tabla periódica en broma pero que sirve para dar pie a comentarios sobre el uso de las analogías tanto en la vida cotidiana como en el contexto científico o didáctico. Finalmente, el séptimo formato corresponde al “tablero del Sabelotodo de la tabla periódica”, una propuesta didáctica presentada por mí para integrar distintos “saberes”, como dice P11, al estudio de la tabla periódica. Los siete formatos motivaron a los profesores, entre otras cosas, a recordar algunas nuevas analogías e incluso proponer nuevos formatos de tabla periódica.

Las preguntas 3, 4 y 5 estaban dirigidas a conocer lo que cada uno le explicaría sobre tabla periódica a alguien que sabe poca química. Buscábamos que los profesores nos comentaran sobre lo que es más significativo para ellos, de lo que está contenido en la tabla periódica, pero fuera del ámbito de sus clases. Es decir, podían escoger libremente de qué hablar sobre tabla periódica, independiente de un programa institucional establecido. Las respuestas a estas preguntas nos sirvieron posteriormente para corroborar la caracterización del perfil de cada profesor.

Las preguntas 6 y 7 estaban directamente relacionadas con nuestra primera hipótesis basada en la relación que hemos propuesto entre:



tanto para las analogías que pueden estar encerradas en la tabla periódica, como para las analogías que los profesores utilizan para “extraer” la información de ella.

Las preguntas 8 y 9 corresponden a la cuarta pregunta que se plantea la Didáctica de las Ciencias en torno a un currículo: ¿cómo evaluar? Las respuestas a estos dos puntos, como se verá en la discusión de los resultados, también consolidan las características de cada perfil.

Finalmente, las preguntas 10, 11 y 12 estaban encaminadas a obtener, de la manera más clara e inequívoca las definiciones de elemento, átomo y sustancia simple. El análisis de las respuestas a estas tres preguntas constituyen uno de los pilares en la construcción de los perfiles de los profesores participantes de esta investigación y en seguida será detallado paso a paso.

3.3.2.2. Diseño del análisis

Para poder determinar la visión que cada profesor tiene del concepto elemento, las respuestas a las preguntas 10, 11 y 12 se analizaron a tres niveles. El primer nivel consistió en la construcción de una serie de símbolos que permitió esquematizar las relaciones establecidas por los profesores entre elemento, átomo y sustancia simple. Se detectaron veintinueve relaciones diferentes basadas en lo expresado por los profesores. El segundo nivel consistió en la aplicación del instrumento, es decir la traducción de las respuestas de cada profesor a los símbolos de relaciones, a través de cinco pasos, para establecer lo que llamamos su visión. Finalmente, el tercer nivel de análisis, consistió en un proceso de cinco pasos que confluyeron en la clasificación de todos los profesores en las cinco visiones encontradas.

Con el fin de facilitar el seguimiento del proceso que nos condujo al esclarecimiento de las visiones, hemos resumido en las redes 2, 3, 4 y 5, con breves ejemplos, los tres niveles de análisis y los pasos comprendidos en cada uno.

3.3.3. Hacia la determinación del PERFIL del profesor

Con los datos obtenidos en los dos puntos anteriores se construyó una tabla de doble entrada que correlaciona la *función* principal asignada por cada profesor a la tabla periódica en sus cursos con su *visión* sobre el concepto elemento. De esta correlación emergieron los tres *perfiles* encontrados en este trabajo, que se discuten en el capítulo 7.

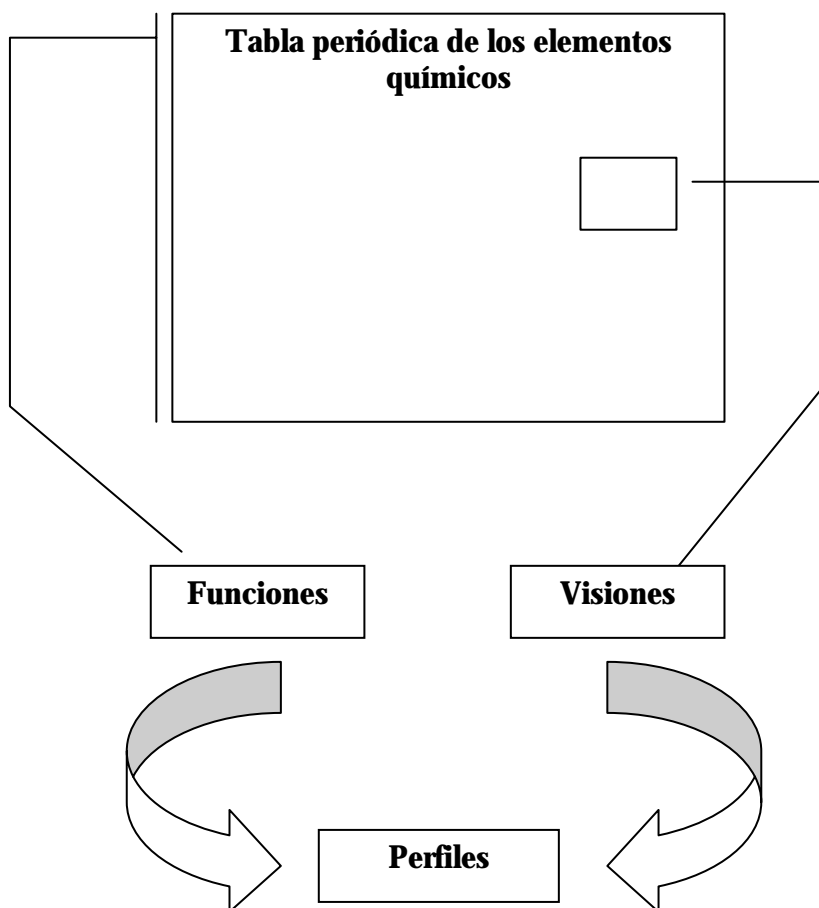
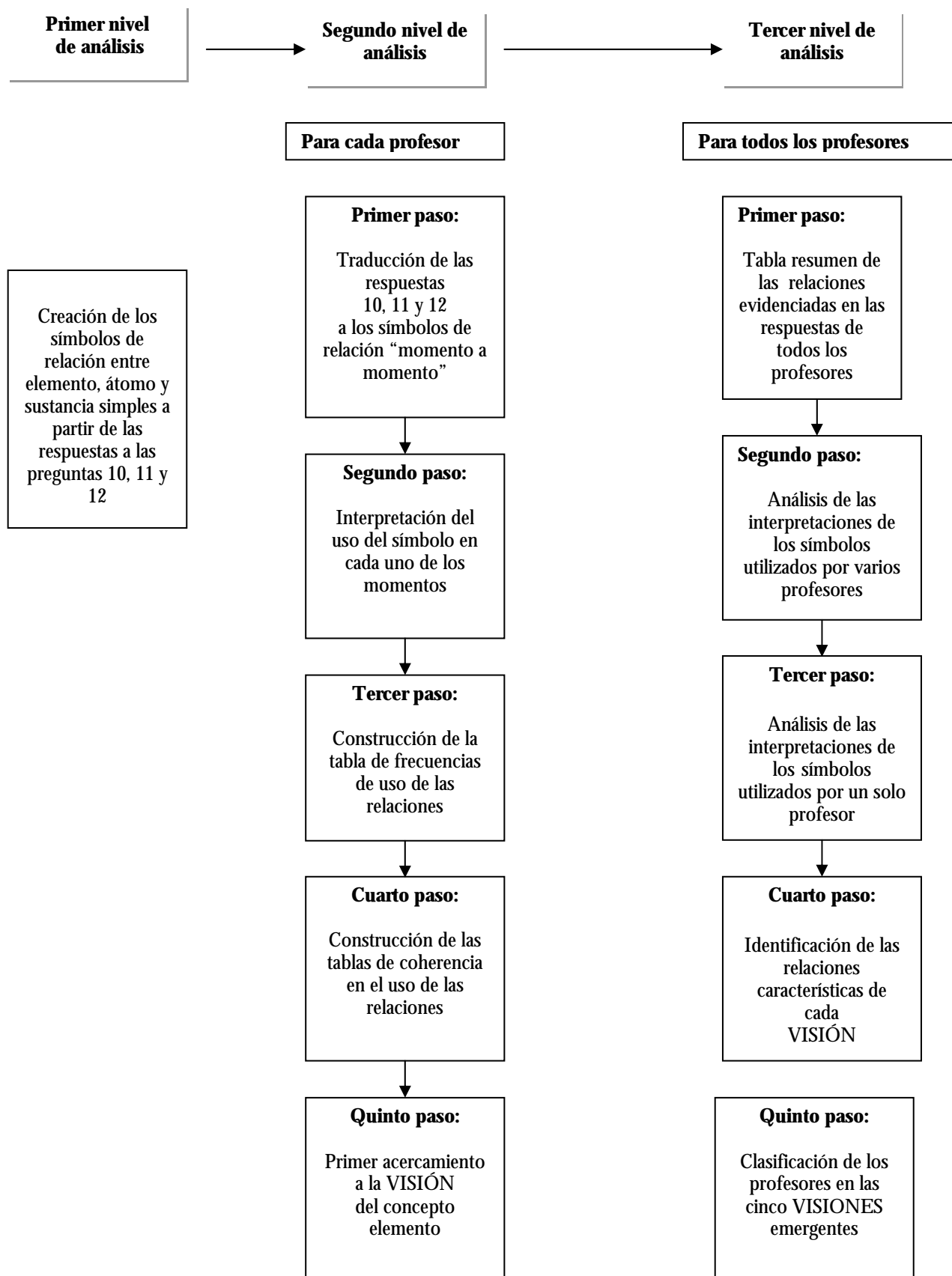
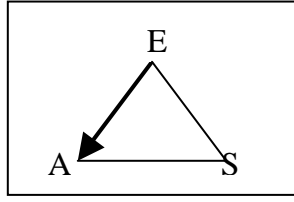
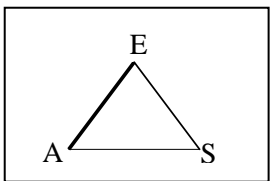


Figura 1

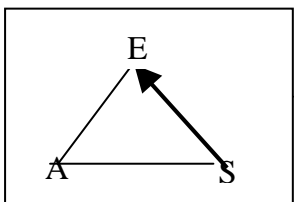


Primer nivel de análisis

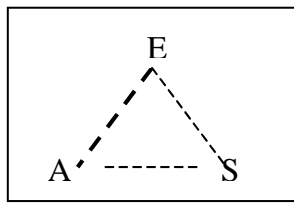
Creación de los símbolos de relación entre elemento, átomo y sustancia simples a partir de las respuestas a las preguntas 10, 11 y 12



Un elemento está formado por átomos



Una sustancia está constituida por un elemento



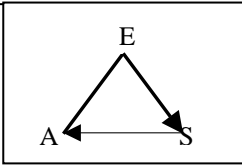
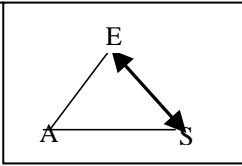
El elemento sería como el símbolo

Red 3

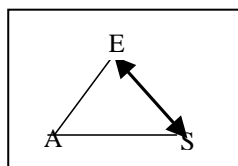
Segundo nivel de análisis

Para cada profesor

Primer paso:
Traducción de las respuestas 10, 11 y 12 a los símbolos de relación "momento a momento"

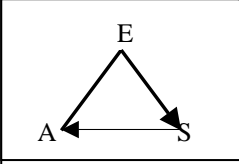
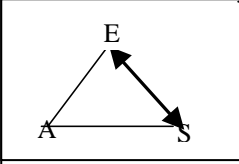
Momento	Símbolo de la Relación	
		
		

Segundo paso:
Interpretación del uso del símbolo en cada uno de los momentos

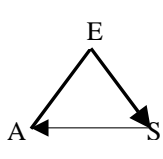
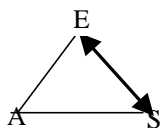
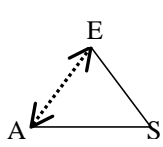


La relación número 29 expuesta explícitamente por P2 en los momentos 2, 3, 5, 8, 13 y 14 ratifica su pensamiento en cuanto a que elemento y sustancia simple son lo mismo.

Tercer paso:
Construcción de la tabla de frecuencias de uso de las relaciones

Símbolo de la relación	Frecuencia	Momentos
	3	1,7,12
	6	2,3,5,8,13,14

Cuarto paso:
 Construcción de las tablas de coherencia en el uso de las relaciones

Momentos														
Símbolo de relación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	x						x					x		
		x	x		x			x					x	x
				x		x								

Quinto paso:
 Primer acercamiento a la VISIÓN del concepto elemento

Las relaciones entre elemento y sustancia simple manifestadas por P2 sugieren una VISIÓN de elemento como sustancia

Red 4

Tercer nivel de análisis

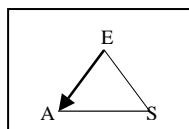
Para todos los profesores

Primer paso:

Tabla resumen de las relaciones evidenciadas en las respuestas de todos los profesores

Relación	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16	# P
1	8			1		4		1				2			5
2					2	3	1								3
3	1														1
4		1	2	3	11	2		2	5	1	4	1	4	3	12
5			3	1	2	3	1		3		2		3	1	9
6						2									1
7															*
8										1					1
9	1														1
10						3	1				1			1	3
11							1	3							2
12	1						1	2		1				1	5
13															*
14					1		2								2
15															*
16	1						1	1						1*	4
17				1								1			2
18										1					1
19				1			1				1		1		4
20												1			1
21	1			1	3		5			1	4			2	7
22	1	2		3	1						1	1		2	7
23														1	1
24							2								1
25										1					1
26										1					1
27		3	1				1			1					4
28		2	1		1		2		14		2		2		7
29		6	7		8				18		3			1	6
comunes	5	5	5	7	8	5	11	5	4	4	8	4	4	8	
propias	2					1	1			4				1	
total	7	5	5	7	8	6	12	5	4	8	8	5	4	9	

Relación 4:



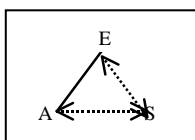
Segundo paso:

Análisis de las interpretaciones de los símbolos utilizados por varios profesores

	P2	P3	P4	P6	P7	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16	P1	P5	P6
Elemento caracterizado por Z				x	x			x	x	x	x				
Elemento está formado por átomos				x							x				x
Elemento puede tener isótopos		x		x										x	
Elemento es un tipo de átomo		x				x									
Elemento está constituido por átomos			x						x						
Elemento es el nombre de un átomo								x							
Elemento está muy relacionado con átomo							x								
Elemento implica una definición de átomo	x														
Elemento está caracterizado por el átomo											x				
Elemento tiene propiedades marcadas por su configuración electrónica															x

Tercer paso:
Análisis de las interpretaciones de los símbolos utilizados por un solo profesor

**P1:
Relación 3**



...sustancia simple es distinta de elemento y de átomo.

Cuarto paso:
Identificación de las relaciones características de cada VISION

Visión: sustancia	
29	Un elemento es una sustancia simple
28	Elemento y átomo no es lo mismo
27	Una sustancia formada por un solo tipo de átomo
Visión: átomo	
1	
	Elemento y átomo están muy ligados
	Un elemento es definido como una estructura atómica
	Un elemento está caracterizado por Z
2	Sustancia simple no se refiere a un elemento.
	Como visión atómico-contundente
Visión: símbolo	
16	
	Elemento es como el principio de algo
	El nombre de la sustancia.
	El elemento es un nombre que se le ha dado a los diferentes átomos.
	El elemento sería como el símbolo
Visión: especie	
19	Elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes
4	
	Elemento caracterizado por Z
	Elemento puede tener isótopos
Visión: indefinida	
17	No sabe definir los tres conceptos
18	No sabe si los tres conceptos son iguales
20	Elemento, átomo y sustancia simple son equivalentes

Quinto paso:
Clasificación de los profesores en las cinco VISIONES emergentes

Sustancia					Átomo	Símbolo			Especie	Indefinida			
P2	P3	P6	P10	P12	P7	P1	P8	P9	P15	P4	P11	P13	P16

3.3.4. Uso de las analogías en la enseñanza de la tabla periódica

La investigación sobre el uso de las analogías en los cursos del Departamento de Química de la Universidad del Valle, se llevó a cabo, como ya se comentó, durante los meses de febrero y marzo del 2002, de manera paralela a la aplicación del cuestionario y la primera entrevista sobre tabla periódica.

Para esta investigación sobre el uso de las analogías, todos los profesores del departamento, menos uno, cuyos compromisos no se lo permitieron, accedieron muy gentilmente a realizar la entrevista y desarrollar el cuestionario complementario. Este cuestionario estaba dirigido principalmente a la recopilación de analogías que originaron posteriormente un amplio y útil repertorio (Linares, 2002).

Además de los 18 profesores de planta, entrevisté a un profesor jubilado, una profesora contratista y una estudiante del doctorado de química de nuestro departamento, que a su vez es profesora de química en otra universidad. Como ya lo he mencionado anteriormente, el grupo escogido para este estudio eran químicos con maestrías y doctorados en ciencias y, en su mayoría, con una larga trayectoria como profesores y profesoras de química a nivel universitario.

A lo largo del tiempo, este ejercicio de la profesión docente ha llevado intrínsecamente unidas una serie de prácticas de un gran sentido pedagógico. En el caso que nos ocupaba, de profesionales de las ciencias puras, tales prácticas surgen más por tradición que por formación en didáctica. Un ejemplo de aquellas es el uso de las analogías.

Sin embargo, este conocimiento pedagógico, estas prácticas reflexivas contrastadas con la realidad y con sus compañeros, sólo se ponen en evidencia cuando son cuestionadas, como se observó en el caso de esta investigación.

Y era precisamente este conocimiento tácito que este cuerpo docente ha acumulado durante muchos años, y en particular, lo relacionado con la enseñanza de la tabla periódica lo que pretendía recoger este trabajo.

Mellado et al (1999) manifiestan que son muy escasos los estudios de casos sobre profesores considerados excelentes, y a su vez citan textualmente a Anderson (1989), que ratifica su apreciación afirmando: *“...lo cual condena a cada generación de profesores de ciencias a redescubrir el conocimiento de sus predecesores a través de la experiencia, en vez de construir el conocimiento sobre el éxito de los anteriores profesores de ciencias”* (pp. 64-65).

Por otra parte, considero conveniente manifestar en este momento que lo que buscaba este trabajo era estudiar el uso real que los profesores y profesoras efectivamente hacen de las analogías, y no, conocer qué modelo de razonamiento analógico siguen, aunque hay algunos casos muy evidentes, como por ejemplo el presentado por el P1 (D20 en la investigación sobre analogías) al referirse a la tabla periódica como un instrumento:

“(La tabla periódica) es un instrumento (para el químico) como para el ingeniero es la calculadora, como para el médico es el bisturí.”

que tiene típicamente un formato proporcional de la forma A:B::C:D (González, 1997).

tabla periódica : químico :: calculadora : ingeniero
 tabla periódica : químico :: bisturí : médico

Las preguntas 6 y 6.a, al igual que la segunda parte del cuestionario, solicitaban exclusivamente ejemplos de analogías sobre el tema de la tabla periódica. El motivo de esta petición sobre este tópico en particular tenía una razón de carácter personal. Desde hacía aproximadamente un año, mi directora y yo habíamos escogido como tema principal de mi tesina y de mi tesis doctoral la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química en la Universidad del Valle. En esa línea, ya había adelantado una investigación sobre veintisiete de los principales libros de texto que han servido de base a los cursos generales de química, empezando por los *Principios de Química* de Dimitri Mendeleiev, publicado a finales del siglo XIX, hasta los más recientes. El análisis de este material constituiría, en principio, mi tesina. Por esta razón, como ya dije, en mi visita a Colombia realicé entrevistas y administré un cuestionario exclusivamente sobre tabla periódica a los docentes que la enseñan dentro de sus curso, como material de investigación para mi tesis. Y por supuesto, aproveché la investigación sobre las analogías, cuyo objetivo original era el trabajo para la evaluación de los cursos “Conceptos básicos en didáctica de las ciencias

experimentales” y “La investigación en didáctica de las ciencias experimentales y las matemáticas”, para recoger información adicional sobre las estrategias de los profesores y profesoras de mi departamento al enseñar la tabla periódica. Finalmente, el estudio sobre el uso de las analogías se consolidó en mi tesina (Linares, 2002) para completar los requisitos en la Maestría en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la UAB, y todo el material recogido sobre la tabla periódica, incluidas las analogías, se retomó para la Tesis Doctoral.

De otra parte, como se comentó en el punto 3.3.2.1., en la segunda entrevista se volvió a tocar el tema de las analogías; sin embargo, los profesores sólo aludieron a unas pocas que serán comentadas durante el análisis, de modo que el grueso de este apartado lo constituyen básicamente las recogidas por primera vez.

3.3.4.1. Instrumentos y estrategias

Tercera estrategia: Entrevista sobre analogías.

INSTRUMENTO #5: PROTOCOLO DE LA ENTREVISTA A PROFESORES Y PROFESORAS DE QUÍMICA GENERAL DE LA UNIVALLE SOBRE EL USO DE LAS ANALOGÍAS EN LOS CURSOS DE QUÍMICA

Apreciado profesor o profesora:

Como estudiante de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Autónoma de Barcelona, estoy realizando un trabajo sobre el uso de las analogías en los cursos de Química en la Universidad del Valle. La colaboración que usted me brinde será de gran valor. La información aquí recogida es de carácter anónimo.

Agradezco de antemano su amabilidad y su tiempo para concederme esta entrevista.

Cordialmente,

Rita Linares

Profesor: _____ Profesora: _____

Área de Formación Académica Principal:

Orgánica: _____ Inorgánica: _____ Físico-química: _____

Analítica: _____ Otra: _____

Último título académico: Licenciatura: _____ Profesional-Químico: _____

Maestría: _____ Doctorado: _____

Ha enseñado Química a nivel universitario:

Durante los últimos 5 años: _____

Durante los últimos 10 años: _____

Durante los últimos 15 años o más: _____

Nombre del curso universitario en el que enseña Tabla Periódica:

Química General: _____ Química Inorgánica General _____

Química Fundamental: _____

Química I: _____

Otro: _____

1. Hay temas o conceptos difíciles de explicar y solemos utilizar ejemplos o situaciones más cercanas al estudiante, sacados de la vida cotidiana o de otras áreas del conocimiento. Estas comparaciones se denominan analogías. A lo largo de su experiencia, ¿ha recurrido usted a este tipo de ejemplos?

Ejemplo de vida cotidiana: la disociación del cloruro de sodio y el par de zapatos; y otras áreas del conocimiento: el equilibrio y el péndulo.

2. ¿Para qué usa las analogías en su clase?

3. ¿Suele utilizarlas antes o después de explicar un concepto o un tema?

4. ¿En qué temas preferiblemente utiliza analogías?

5. ¿Me podría mencionar algunos ejemplos?

6. Concretamente en tabla periódica, ¿cuáles utiliza?

a. ¿cuáles otras cree que podría utilizar?

7. ¿Cree que el uso de las analogías es igualmente frecuente en los cursos de todos los niveles o es más común en unos más que en otros?

8.- A lo largo de su carrera docente, ¿ha incorporado el uso de analogías en sus clases o ha preferido eliminarlas?

Quinto instrumento: El cuestionario sobre analogías

Estaba previsto que era probable que, al momento de hacer la entrevista, muchos docentes no recordaran las analogías que emplean en clase, sobre todo porque esta investigación estaba basada en el supuesto de que muchos de nosotros las hemos utilizado de una manera intuitiva y espontánea, como un recurso casual y no como un método riguroso. El cuestionario complementario de la entrevista buscaba entonces dar a los docentes un mayor tiempo para recordar algunas de las analogías usadas en alguna oportunidad, en especial, en el tema de tabla periódica. A algunos les entregué el cuestionario y las preguntas de la entrevista antes de reunirme a conversar con ellos y a otros les entregué el cuestionario después de haberlos entrevistado. Así todos dispusieron de varios días para recopilar las que recordaran.

El cuestionario constaba de tres partes.

INSTRUMENTO #6: CUESTINARIO COMPLEMENTARIO A LA ENTREVISTA SOBRE ANALOGÍAS

Apreciado profesor o profesora:

Como estudiante de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Autónoma de Barcelona, estoy desarrollando un trabajo sobre el uso de las analogías en los cursos de Química en la Universidad del Valle. La colaboración que usted me brinde será de gran valor. La información aquí recogida es de carácter anónimo, sin embargo puesto que el resultado de este trabajo puede ser beneficioso para todos nosotros, una vez lo concluya le enviaré a cada uno(una) una copia del mismo.

Agradezco de antemano su amabilidad y su tiempo para diligenciar este cuestionario.

Cordialmente,
Rita Linares

Profesor: _____ Profesora: _____

Área de Formación Académica Principal:

Orgánica: _____ Inorgánica: _____ Físico-química: _____
Analítica: _____ Otra: _____

Último título académico: Licenciatura: _____ Profesional-Químico: _____
Maestría: _____ Doctorado: _____

Ha enseñado Química General y/o Química Inorgánica General a nivel universitario:

Durante los últimos 5 años: _____

Durante los últimos 10 años: _____

Durante los últimos 15 años o más: _____

Nombre del curso de primer año universitario en el que enseña Tabla Periódica:

Química General: _____ Química Inorgánica General _____

Química Fundamental: _____

Química I: _____

Otro: _____

Las analogías son comparaciones entre objetos o situaciones diferentes pero que tienen una cierta relación de semejanza entre sí.

Las analogías suelen utilizarse como estrategia educativa para facilitar la comprensión de un determinado concepto o fenómeno.

Primera parte: Analogías propuestas por la investigadora:

A continuación pongo a su consideración una serie de analogías que he recogido de otros profesores y profesoras o de textos escritos, algunas de las cuales he utilizado en mis clases. Le agradecería que me indicara si las ha usado o no, si las usaría, y si le parecen apropiadas o no.

Analogía	Concepto	Semejanza	¿La ha usado?	¿La usaría?	¿Le parece apropiada?
El salón de clases	El átomo	La tarima como el núcleo y las filas de asientos como niveles de energía			
Lo que los estudiantes alcanzan a ver de la profesora dependiendo de la fila en que están	Carga nuclear efectiva	Los estudiantes se tapan entre sí como los electrones se apantallan entre sí			
Dos niños elevando cada uno una cometa, uno con un hilo muy corto y otro con una cuerda larga	Energía de ionización	Mientras más lejos esté la cometa del niño, más fácil será que se le escape. Mientras mayor sea la distancia del electrón al núcleo, menor energía de ionización			
Un aula de chicos que se "distorsiona" cuando pasa una chica linda por el pasillo	Polarizabilidad	La nube electrónica también se distorsiona cuando pasa cerca de una carga positiva			
Un par de zapatos está constituido por un zapato izquierdo y uno derecho	La estequiometría de la disociación del NaCl: 1 mol de NaCl se disocia en 1 mol de Na ⁺ y 1 mol de Cl ⁻	En ambos, una unidad inicial (1 par o 1 mol) da lugar a dos partes que sumadas vuelven a dar la unidad original			
Al subir a un bus, los niños prefieren sentarse solos para tener la ventanilla y sólo comparten el puesto cuando ya no hay bancas vacías	Regla de Hund (máxima multiplicidad de spin en el llenado de orbitales atómicos)	En ambos casos, niños y electrones prefieren estar de a uno mientras sea posible			
Gráfica de altimetría de la vuelta a Colombia	Energía de activación y velocidad de reacción	En ambos casos, la velocidad de toda la reacción (o de la carrera) está determinada por el paso más lento, el de mayor energía de activación (montaña más alta)			
Resorte para hacer ejercicios para brazos y pectorales	Enlaces simple, doble y triple	Mientras mayor el número de enlaces (o resortes) más difícil es separarlos			
Dos señoras compartiendo un bolso	Enlace	Las señoras están unidas por el bolso que comparten, como los átomos se unen al compartir electrones			

Tabla 4

Segunda parte: Analogías propuestas por los docentes sobre conceptos relacionados con la tabla periódica

Tal como ya lo comenté, este apartado del cuestionario estaba dirigido específicamente a ampliar el repertorio de analogías sobre la tabla periódica, tema de especial interés para mí.

La solicitud presentada a los profesores y profesoras del Departamento de Química de la Universidad del Valle con respecto a las analogías concernientes a la enseñanza de la tabla periódica, era la siguiente:

A continuación le presento una tabla con una serie de conceptos sobre los cuales me interesaría conocer la analogía que usted utiliza o que cree que podría utilizar y por qué.

Uso de analogías en el tema de tabla periódica

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?
Ley periódica				
Tabla periódica				
Carga nuclear efectiva				
Energía de ionización				
Afinidad electrónica				
Polarizabilidad				
Electronegatividad				
Grupos de la tabla periódica				
Períodos de la tabla periódica				

Tabla 5

Tercera parte: Otras analogías propuestas por los docentes

La tercera y última parte del cuestionario era un cuadro similar al de la segunda parte, pero en una forma abierta le solicitaba a los docentes ejemplo de analogías utilizadas o propuestas por ellos para temas de su libre elección. El texto presentado era el siguiente:

A continuación le presento una tabla similar a la anterior para que usted, por favor, incluya algunas otras analogías que recuerde haber utilizado en sus cursos de química.

Otras analogías utilizadas en los cursos de química

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?

Tabla 6

Algunos solamente respondieron la primera parte y sólo unos pocos describieron otras analogías distintas a las que ya habían mencionado en la entrevista.

3.3.4.2. Diseño del análisis

La entrevista se analizó y tabuló pregunta a pregunta. El análisis de los sentimientos, opiniones y el tipo de analogía utilizada por los docentes nos 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 hacen alusión a las propiedades atómicas en sí y no a su variación periódica. Cada analogía fue analizada de acuerdo a los criterios de Thagard en cuanto a las condiciones pragmáticas, semánticas y estructurales (Thagard, 1992). Además, se analizó si eran analogías completas o incompletas, con 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, por ejemplo.

Todo el análisis se condensó en redes sistémicas. Hemos importado a esta memoria solamente las que son de nuestro interés ahora.

Las analogías referentes a la tabla periódica y las propiedades periódicas recogidas y analizadas en Linares (2002) y las que suministraron los profesores en las preguntas 6 y 7 de la segunda entrevista nos dan un panorama general del uso que los profesores hacen de esta herramienta didáctica en este tema de nuestro particular interés.

Vale comentar, como se verá durante el análisis de este punto, que incluso quienes afirman no ser partidarios del uso de las analogías en clase, como P16, utilizaron más de una durante la entrevista.

4. Entre el rigor metodológico y la delicadeza ética

Antes de comenzar el análisis y discusión de los resultados, quiero dejar plasmadas algunas reflexiones al respecto.

Siendo esta una investigación cualitativa, sé que debo sustentar muy bien mis resultados para que este trabajo tenga la credibilidad de la comunidad científica. Sin embargo, por otra parte he pensado mucho en la generosidad que mis compañeros y compañeras de la Universidad del Valle y los tres profesores de la Universidad Autónoma de Barcelona han tenido conmigo al compartir su conocimiento profesional, entendido este como el resultado de la integración de sus saberes a lo largo de su experiencia docente, respecto a la enseñanza de la tabla periódica y uso de las analogías en sus cursos. Por tanto considero que les debo la delicadeza ética de no emitir juicios de valor que les puedan hacer sentir burlada la confianza puesta en mí, ni hacer descripciones tan detalladas de los sujetos entrevistados que puedan poner de manifiesto su identidad.

Lo que pretende en definitiva esta investigación es hacer un análisis objetivo del material en estudio y lograr al final un enriquecimiento mutuo de las experiencias compartidas que se reviertan en un ejercicio docente cada vez más conciente y mejor.

Capítulo 4

El saber sabio

1. Análisis de la revisión del Journal of Chemical Education

La revisión de los artículos referentes a la tabla periódica publicados en el Journal of Chemical Education a partir de su primera publicación en 1924 puede considerarse un puente entre el marco teórico y los datos de esta investigación.

Como ya se anotó en la metodología, lo que comenzó siendo una búsqueda bibliográfica rutinaria terminó siendo una colección tan extensa y variada de publicaciones sobre aspectos relacionados con la tabla periódica, que consideramos que amerita un lugar propio en este trabajo.

Desde el primer artículo (Sears, 1924), aparecen los dos aspectos relevantes que estarán presentes a todo lo largo de esta búsqueda bibliográfica: el principio subyacente responsable de la periodicidad observada por Mendeleiev en el comportamiento de las propiedades de las sustancias y las propuestas para modificar o sustituir el formato original de la tabla periódica.

El primer aspecto, que en el artículo de Sears está sólo sugerido, en el de Courtines (1925) ya es explícito: *“es el número de electrones externos al núcleo atómico, igual a la carga del núcleo, lo que determina el arreglo de los elementos en un orden definido.”* A partir de entonces, esta justificación de la periodicidad se repite una y otra vez: Monroe y Turner, 1926, Conant, 1928, Van

Rysselberghe, 1935, Menshutkin, 1937, Ebel, 1938, Luder, 1939, Foster, 1939, Hazlehurst, 1941, Luder, 1943, Wiswesser, 1945, Szabo, y Lakatos, 1957 y Strong, 1959.

No obstante, en estos primeros años de la revista se percibe también la preocupación de algunos autores porque las tablas periódicas propuestas realizaban más una ordenación numérica que las propiedades químicas. En este sentido, en el artículo de French, (1937) se lee que una de las debilidades que el autor le encuentra a todas las tablas es que colocan los elementos de una misma familia o grupo en una misma columna, enfatizando las relaciones estructurales y de valencia a expensas de propiedades químicas y comportamiento químico. Años más tarde, esta preocupación se vuelve a notar en el artículo de Ludwig, (1992), en el que sostiene que las reglas de $(n + l)$ son más numerología que química, y que la razón de que el orbital 4s se llene antes del 3d es porque el potasio se parece más al sodio que el escandio. Finalmente el autor afirma que cuanto más cercanos nos mantengamos de la tabla, estaremos más cerca de la química.

De todas maneras, son muchos más los artículos que sustentan la periodicidad en la estructura atómica que aquellos que aducen razones de comportamiento químico para su justificación.

A partir de los años sesenta ya no parece necesario tener que explicar algo que es sabido por todos y, aunque siguen apareciendo propuestas de formatos basados en las distribuciones electrónicas, no se dice expresamente que esa es la base de la periodicidad. Una nueva alusión a esta fundamentación aparece cuando Bouma (1989), al proponer su formato, manifiesta que se ha hecho un uso intenso de la tabla desde que se descubrieron las razones de la periodicidad, que son: la configuración electrónica, el principio de Pauli y otros conceptos relacionados.

Sin embargo, lo que más llama la atención en su artículo es su observación acerca de que, generalmente, los desarrollos en la ciencia se demoran 25 años en ser reconocidos en los libros de texto y en particular comenta que la tabla de Mendeleiev fue presentada por primera vez en un libro de texto en los Países Bajos treinta años después de su publicación.

Los últimos artículos que encontramos relacionando la tabla periódica con la configuración electrónica, Strong, 1986, Ludwig, 1992 y Mabrouk, 2003, están dirigidos a retomar la tabla periódica como base para el aprendizaje de las configuraciones electrónicas y ya no para justificarla a partir de ellas.

Es decir, mientras que en la primera mitad del siglo XX todo parece indicar que lo importante era consolidar la estructura atómica como base de la tabla, finalizando el siglo, este interés se ha revertido para volver a los orígenes y partir de la tabla para llegar a la estructura del átomo.

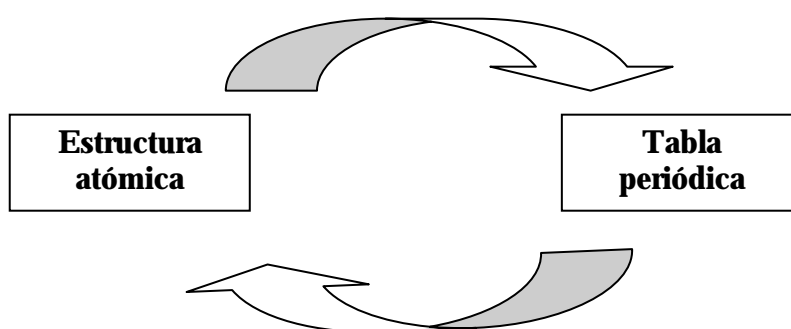


Figura 1

El segundo aspecto que se encuentra de manera insistente en los 78 volúmenes revisados, es la proposición de nuevos formatos para organizar los elementos químicos (Sanderson, 1964; Fernelius. y Powell, 1982; Fernelius, 1986; Guenther, 1987). En 1974 Edward G. Mazurs hizo una recopilación y clasificación de los muchos propuestos hasta la fecha, pero la creatividad de los químicos, y de los profesores y estudiantes de química no se ha detenido en los siguientes treinta años. Prueba de lo anterior son los formatos presentados por Loening, 1984, Garrigós et al., 1987, Sharma, 1988, Campell, 1989, Bouma, 1989, Laing, 1989, Von Martens Osorio y Goldsmidt, 1989, Levine, 1990, Carrado, 1993, Treptow, 1994, He y Li, 1997, Dutch, 1999, Balaban, 1999, Marshall, 2000.

La proliferación de propuestas de formatos para la tabla periódica ha sido motivo de más de un comentario en esta revista. En este sentido, en el artículo de Longuet-Higgins (1957), hay una nota al pie del editor (p.30), diciendo que era cierto que desde siempre en la revista

habían estado apareciendo nuevas tablas periódicas y comentarios sobre las anteriores, pero que así seguiría siendo, aunque algunos lectores asiduos pudieran pensar que algunos artículos eran redundantes o repetitivos.

Por su parte, Strong (1959) anotaba que para un observador externo podía parecer que el juego preferido de muchos químicos era la invención de nuevas formas de la tabla periódica. Y después añadía: *“Uno interno se da cuenta que cada autor toma un principio diferente que le parece importante para su propuesta. La inconformidad con la forma corta o larga suelen ser un motivo para que los químicos entren en el juego.”*

Décadas después, Fernelius y Powell (1982) dedicaban su artículo a la crítica de los tres formatos más comunes: el corto, el largo y el piramidal. En él presentaban un cuadro con la revisión de 829 artículos del “chemical abstract” publicados entre 1972 y 1981, anotando que: *“Se han hecho muchas propuestas de modificación y cada autor busca resaltar un determinado aspecto.”*

Efectivamente, como afirman Fernelius y Powell (1982), en esta revisión encontramos formatos de tabla periódica basados en la configuración electrónica y los números cuánticos, en isótopos, en las propiedades de las sustancias simples. Hay también algunas propuestas que sólo se refieren al tipo de letras o de colores que se debe utilizar para hacerlos más llamativos o más útiles como herramienta didáctica y otras que están más encaminadas a explicar la periodicidad en sí.

De otro lado, en esta revisión encontramos propuestas sobre programas académicos de química o para la enseñanza de la tabla periódica y algunas investigaciones relativas al tratamiento de la tabla periódica en los libros de texto. Recogimos también una serie de artículos relacionados con el uso de modelos, tanto materiales como teóricos y didácticos, entre ellos algunas analogías y experiencias de modelización en el aula, para explicar el átomo y la tabla periódica.

Así, los ciento nueve artículos analizados (ver Bibliografía: Revisión cronológica del JCE) se clasificaron bajo once items, como se detalla a continuación. Algunos artículos tratan

simultáneamente y en profundidad diferentes aspectos y por eso pueden aparecer más de una vez.

1.1. Formato

En estos artículos se resaltan las características del formato. Lo importante es la forma o el color. Un ejemplo de este grupo lo constituye el artículo de Graves (1929) en el que describe:

“En las casillas, los sólidos están representados por letras negras, los líquidos en azul, los gases en rojo y las tierras raras en marrón...”

1. SEARS, G.W. (1924). A new form of periodic table as a practical means of correlating the of chemistry. *J. of Chemical Education*. 1 (8), pp.173-177.
2. GRAVES, S. (1929). A periodic chart of the atoms. *J. of Chemical Education*. 6 (3), pp.553-555.
3. FRENCH, S.J. (1937). Warping the periodic table. *J. of Chemical Education*. 14, pp.571-573.
4. FOSTER, L.S. (1939). Why not modernize the textbooks also? I. The periodic table. *J. of Chemical Education*. 16, pp.409-412.
5. HAZLEHURST, T.H. y FORNOFF, F.J. (1943). Representation of periodic properties of the elements. *J. of Chemical Education*. 20, pp.77-79.
6. CORYELL, C.D. (1952). The periodic table: The 6d-6f mixed transition group. *J. of Chemical Education*. 29, pp.62-64.
7. STRONG, F.C. (1959). The atomic form periodic table. *J. of Chemical Education*. 36 (7), pp.344-345.
8. SANDERSON, R.T. (1964). A rational periodic table. *J. of Chemical Education*. 41 (4), pp.187-190.

9. TERNSROM, T. (1964). A periodic table. *J. of Chemical Education*. 41 (4), pp.190-191.
10. EDITOR, (1964). A clockwise spiral system of the chemical elements. *J. of Chemical Education*. 41 (4), p. 191.
11. FERNELIUS, W.C. y POWELL, W.H. (1982). Confusion in the periodic table of the elements. *J. of Chemical Education*. 59 (6), pp. 504-508.
12. LOENING, K.L.(1984). Recommended format for the periodic table of the elements. *J. of Chemical Education*. 61 (2), p.136.
13. GUENTHER, W.B. (1987). An upward view of the periodic table. *J. of Chemical Education*. 64 (1), pp.9-10.
14. SHARMA, R.C. (1988). Recommended format for the periodic table. *J. of Chemical Education*. 65, p.1114.
15. CAMPPELL, J.A.(1989). Let us make the table periodic. *J. of Chemical Education*. 66 (9), pp.739-740.
16. BOUMA, J. (1989). An application-oriented periodic table of the elements. *J. of Chemical Education*. 66 (9), pp.741-745.
17. LAING, M. (1989). The periodic table – A new arrangement. *J. of Chemical Education*. 66 (9), p. 746.
18. LEVINE, E.H. (1990). Create your own periodic table. *J. of Chemical Education*. 67 (12), pp.1045-1046.
19. CARRADO, K.A. (1993). Presenting the fun side of the periodic table. *J. of Chemical Education*. 70, pp. 658-659.

20. HE, F.Ch. y LI, X.Y. (1997). The periodic building of the elements: Can the periodic table be transformed into stereo? *J. of Chemical Education*. 74 (7), pp.792-793.
21. BALABAN, A.T. (1999). A different approach to a 3-D periodic system including stable isotopes. *J. of Chemical Education*. 76 (3), p. 359.

1.2. Átomo y configuración electrónica

Este conjunto reúne aquellos artículos que se refieren al átomo y a los números cuánticos y, en particular, a su relación con la tabla periódica.

1.2.1. Tabla periódica basada en estructura atómica

En este grupo de artículos los autores enfatizan que la configuración electrónica es la base del ordenamiento de los elementos en la tabla periódica. Por ejemplo, Monroe y Turner, (1926) afirman que:

“Por tanto, los elementos pueden clasificarse en periodos de acuerdo al número de órbitas electrónicas en el átomo...”

Por su parte, Ebel (1938), manifiesta que:

“Pero ya que la ley tiene que ver esencialmente con las propiedades del átomo, y ya que las propiedades del átomo están determinadas por la estructura atómica, estas pueden explicar al menos el por qué de la ley periódica...”

1. COURTINES, M. (1925). A model of the periodic table. *J. of Chemical Education*. 2 (2), pp.107-109.
2. MONROE, C.J. y TURNER, W.D. (1926). A new periodic table of the elements. *J. of Chemical Education*. 3 (9), pp.1058-1065.
3. EBEL, R.L. (1938). Atomic structure and the periodic table. *J. of Chemical Education*. 15, pp. 575-577.

4. LUDER, W.F. (1939). An improved periodic table. *J. of Chemical Education*. 16, pp.393-395.
5. LUDER, W.F. (1943). Electron configuration as the basis of the periodic table. *J. of Chemical Education*. 20, pp.21-26.
6. BABOR, J.A. (1944). A periodic table based on atomic number and electron configuration. Where to place Th, Pa and U in the table. *J. of Chemical Education*. 21, pp. 25-26.
7. EMERSON, E.I. (1944). A chart based on atomic numbers showing the electronic structure of the element. *J. of Chemical Education*. 21, pp. 254-255.
8. WAGNER, H.A. y SIMMONS BOOTH, H. (1945). A new periodic table. *J. of Chemical Education*. 22, pp.128-129.
9. SZABO, Z.G. y LAKATOS, B. (1957). A new periodic table and new periodic functions. *J. of Chemical Education*. 34 (9), pp.429-432.
10. FERNELIUS, W.C. (1986). Some reflections on the periodic table and its use. *J. of Chemical Education*. 63 (3), pp.263-266.

1.2.2. De la tabla a la configuración electrónica

Estos artículos retoman la tabla periódica para reforzar los conocimientos de la química y la estructura atómica. En este sentido el artículo de Ludwig (1992) señala que:

“Usar la tabla periódica exclusivamente para racionalizar la distribución electrónica tiene la ventaja de enfatizar en los aspectos experimentales de la ciencia y evitar dar la impresión de que la química es nada más que un conjunto de reglas misteriosas.”

11. STRONG, J.A. (1986). The periodic table and electron configurations. *J. of Chemical Education*. 63 (10), pp.834-836.

12. LUDWIG, O.G. (1992). The best Aufbau mnemonic: the periodic table. *J. of Chemical Education*. 69, p.430.
13. MABROUK, S.T. (2003). The periodic table as a mnemonic device for writing electronic configurations. *J. of Chemical Education*. 80(8), pp.894-898.

1.2.3. Otras propuestas de tabla periódica

Esta tabla está basada en átomos gaseosos libres y en los términos espectroscópicos para describir los átomos en su estado fundamental.

14. TREPTOW, R.S. (1994). The periodic table of the atoms. Arranging the elements by a different set of rules. *J. of Chemical Education*. 71 (12), pp.1007-1012.

1.2.4. Desarrollo de la teoría atómica

Estos artículos incluyen algo de historia sobre la teoría atómica o sobre los desarrollos en los descubrimientos de las partículas subatómicas y algunas propuestas para enseñarla.

15. HUGGINS, M.L. (1926). The structure of matter: a brief review of present day conceptions. I. The atom. *J. of Chemical Education*. 3 (10), pp.1110-1116.
16. CONANT, J.B. (1928). Atoms, molecules, and ions. *J. of Chemical Education*. 5 (1), pp.25-35.
17. CAMPBELL, J.A. (1946). Atomic size and the periodic table. *J. of Chemical Education*. 23, pp. 525-529.
18. STANDEN, A. (1947). The continued fairy story of atomic weights. *J. of Chemical Education*. 24, p.453.
19. LEARY, J.J. y KIPPENY, T.C. (1999). A framework for presenting the modern atom. *J. of Chemical Education*. 76 (9), pp.1217-1218.

20. HOFFMAN, D.C. y LEE, D.M.(1999). Chemistry of the heaviest elements – one atom at a time. *J. of Chemical Education*. 76 (3), pp.331-347.

1.2.5. Visión de átomo

El artículo resume una investigación realizada con 300 estudiantes de 15 años para conocer sus ideas sobre el modelo de átomo. Para ello se les preguntaba cuales propiedades de seis propuestas creían que podría tener UN ÁTOMO de cobre sólido o gaseoso. Las respuestas son el resultado de cinco modelos conceptuales.

21. BEN-ZVI, R. EYLON, B.S. y SILBERSTEIN, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *J. of Chemical Education*. 63 (1), pp.64-66.

1.2.6. El núcleo y la tabla periódica:

Estos artículos están directamente relacionados con propiedades del núcleo, como su estabilidad, o con espectros de resonancia magnética nuclear.

22. BLANCK, H.F. (1989). Predicting nuclear stability using periodic table. *J. of Chemical Education*. 66 (9), pp.757-758.
23. HUIZENGA, J.R. (1993). Size of the periodic table. Answering a philosophical question about possibilities and limitations. *J. of Chemical Education*. 70, pp.730-731.
24. GEROTHANASSIS, I.P. y KALODIMOS, C.G. (1996). NMR Shielding and the periodic table. *J. of Chemical Education*. 73 (8), pp.801-804.

1.3. Números cuánticos

En estos artículos se relacionan los números cuánticos con la tabla periódica o se narran aspectos de interés sobre su historia.

1.3.1. Historia de los números cuánticos

Este segundo artículo de Higgins plantea que gran parte del conocimiento que en ese momento se tiene sobre el átomo se ha obtenido por los estudios de las radiaciones de la luz.

22. HUGGINS, M.L. (1926). The structure of matter: a brief review of present day conceptions. II. The atom and radiation. *J. of Chemical Education*. 3 (11), pp.1254-1258.

1.3.2. Números cuánticos y tabla periódica

Esta serie de artículos relaciona la tabla periódica con los números cuánticos de una forma más específica que los del numeral 1.2.1. Por ejemplo, Van Rysselberghe (1935) afirma que:

“... las propiedades químicas de los elementos dependen de la naturaleza (por ejemplo, los números cuánticos) y en el número de electrones en las distintas capas de valencia. Las propiedades químicas dependen más del número cuántico azimutal, l , del electrón añadido que del número cuántico principal, n ...”

23. VAN RYSSELBERGHE, P. (1935). A new periodic table. *J. of Chemical Education*. 12, pp.474-475.
24. HAZLEHURST, T.H. (1941). Quantum numbers and the periodic table. *J. of Chemical Education*. 18, pp.580-581.
25. WISWESSER, W.J. (1945). The periodic system and the atomic structure. III. Wave mechanical interpretations. *J. of Chemical Education*. 22, pp. 418-426.
26. SIMMONS, L.M. (1947). A modification of the periodic table. *J. of Chemical Education*. 24, pp.588-591.
27. LONGUET-HIGGINS, H.C. (1957). A periodic table. The “Aufbauprinzip” as a basis for classification of the elements. *J. of Chemical Education*. 34 (1), pp.30-31.

28. BLINDER, S.M. (1981). Quantum Chemistry via the Periodic Law. *J. of Chemical Education*. 58 (10), pp.761-763.

1.4. Isótopos

Estos artículos explican las anomalías de la tabla periódica en función de las diferencias en los números de masa de los isótopos. Otros proponen modelos de tabla para mostrar la abundancia de los distintos isótopos.

1. KING, J.F. y FALL, P.H. (1940). Radioactivity and the periodic table. An introduction to the study of atomic structure and isotopes in elementary chemistry. *J. of Chemical Education*. 17, pp.481-482.
2. FIRSCHING, F.H. (1981). Anomalies in the periodic table. *J. of Chemical Education*. 58 (6), pp.478-479.
3. BALABAN, A.T. (1999). A different approach to a 3-D periodic system including stable isotopes. *J. of Chemical Education*. 76 (3), p. 359.

1.5. Tabla periódica y propiedades de las sustancias

Este conjunto de artículos se refiere a propiedades de las sustancias asociadas a la tabla periódica. Ternstrom (1964), por ejemplo, propone una tabla periódica que separa los elementos de acuerdo con su estado de agregación

1. SZABO, Z.G. y LAKATOS, B. (1957). A new periodic table and new periodic functions. *J. of Chemical Education*. 34 (9), pp.429-432.
2. TERNSROM, T. (1964). A periodic table. *J. of Chemical Education*. 41 (4), pp.190-191.
3. SINGMAN, C.N. (1984). Atomic volume and allotropy of the elements. *J. of Chemical Education*. 61 (2), pp.137-142.

4. DUTCH, S.I. (1999). Periodic tables of elemental abundance. *J. of Chemical Education*. 76 (3), pp.356-358.
5. MARSHALL, J.L. (2000). A Living periodic table. *J. of Chemical Education*. 77 (8), pp.979-983.

1.6. Ley o periodicidad

Estos artículos presentan propuestas para enseñar la periodicidad, o se refieren a la variación de algunas propiedades periódicas. En particular, el editorial del 2003, 80 (8), enfatiza la importancia de la ley periódica afirmando que la importancia del trabajo de Mendeleiev no fue descubrir la tabla periódica sino hacer una clasificación periódica. Por lo tanto, continúa diciendo, no se debe hablar de la tabla periódica, si no de una tabla periódica pues hay muchas. Cita a Van Sprosen y a Mazurs. Y sugiere que en la enseñanza se utilice más de una.

1.6.1. Periodicidad

1. GOH, N.K. y CHIA, L.S. (1989). Using the learning cycle to introduce periodicity. *J. of Chemical Education*. 66 (9), pp. 747-749.
2. RAYNER-CANHAM, G. (2000). Periodic patterns. *J. of Chemical Education*. 77 (8), pp. 1053-1056.
3. EDITORIAL (2003). Turning the (periodic) tables. *J. of Chemical Education*. 80 (8), p.847.

1.6.2. Propiedades periódicas

4. MASON, J. (1988). Periodic contractions among the elements. Or, on being the right size *J. of Chemical Education*. 65 (1), pp.17-20.
5. CANN, P. (2000). Ionization energies, parallel spins, and the stability of half-field shells. *J. of Chemical Education*. 77 (8), pp.1056-1061.

1.7. Modelos

Bajo el encabezamiento de modelos se han agrupado tanto los artículos referentes a modelos materiales, como los teóricos y didácticos.

1.7.1. Modelos materiales

Un ejemplo representativo de este grupo es el artículo de Records (1982) en el que el autor presenta propuestas para hablar en secundaria de los cinco modelos atómicos más comunes : (1) Las esferas uniformes de Dalton; (2) el budín con pasas de Thomson, (3) el modelo nuclear de Rutherford, (4) el de niveles de energía de Bohr y (5) el modelo orbital de la mecánica cuántica.

1. CAMPBELL, J.A. (1946). Atomic size and the periodic table. *J. of Chemical Education*. 23, pp. 525-529.
2. SANDERSON, R.T. (1960) Atomic models in teaching chemistry. *J. of Chemical Education*. 37 (6), pp.307-310.
3. RECORDS, R.M. (1982). Developing Models: What is the atom really like? *J. of Chemical Education*. 59 (4), pp.307-309.
4. SMITH, R. (1989). The historic atom: from D to Q. *J. of Chemical Education*. 66 (8), pp.637-638.
5. HE, F.Ch. y LI, X.Y. (1997). The periodic building of the elements: Can the periodic table be transformed into stereo? *J. of Chemical Education*. 74 (7), pp.792-793.

1.7.2. Modelos teóricos

En este artículo el autor hace una descripción de los modelos atómicos a partir de Bohr y Rutherford. Cita a personajes de la física y la química del siglo XX y transcribe apartes de sus textos para realzar los modelos o las aportaciones a los modelos atómicos.

6. WISWESSER, W.J. (1948). Atomic structure models, diagrams, classes, and codes. Part I. Which atomic Model? Challenge to teachers. *J. of Chemical Education*. 25, pp.420-425.

1.7.3. Modelos didácticos

Este conjunto de artículos consiste en propuestas para llevar a cabo procesos de modelización en la clase. Como ejemplo podemos citar el artículo de Schrader, (1985) en el que el autor describe algunas de sus prácticas tanto en el laboratorio como en la clase para que los estudiantes “modelicen” algunos conceptos. En alguno de ellos siguen los mismos pasos que Mendeleiev y llegan a conclusiones similares. La conclusión es que cuando los estudiantes entienden lo que es un modelo, pueden estar más abiertos a las nuevas teorías y hechos de la ciencia.

7. FOWLER, L.S. (1981). Building a periodic table. *J. of Chemical Education*. 58 (8), pp.634-635.
8. SCHRADER, C.L. (1985). Everyone wants to be a model teacher. Part III. Extensions to atomic structures and bonding. *J. of Chemical Education*. 62 (1), pp.71-72.
9. STRONG, J.A. (1986). The periodic table and electron configurations. *J. of Chemical Education*. 63 (10), pp.834-836.
10. CIPARICK, J.D. (1988). Introduction to atomic structure: demonstrations and labs. *J. of Chemical Education*. 65, pp.892-893.
11. BOLMGREN, I. (1995). Presenting the periodic system with pictures. *J. of Chemical Education*. 72 (4), pp.337-338.

1.8. Libros

Estos tres artículos hacen referencia a investigaciones hechas en libros de texto, aunque sea de modo colateral o complementario al tema central de su artículo. Por ejemplo, Fernelius y Powell (1982) presenta un cuadro sobre las tablas periódicas usadas por 195 libros de texto de química entre 1931 y 1981. La más usada es la tabla larga.

1. HUGGINS, M.L. (1926). The structure of matter: a brief review of present day conceptions. I. The atom. *J. of Chemical Education*. 3 (10), pp.1110-1116.
2. HAZLEHURST, T.H. (1941). Quantum numbers and the periodic table. *J. of Chemical Education*. 18, pp.580-581.
3. FERNELIUS, W.C. y POWELL, W.H. (1982). Confusion in the periodic table of the elements. *J. of Chemical Education*. 59 (6), pp. 504-508.

1.9. Programas y propuestas de química

Bajo este encabezado hemos reunido las propuestas para los cursos de química, para la enseñanza de algunos temas en particular y para la carrera de química.

1.9.1. Programas para un curso de química general

Esta primera serie de artículos busca responder, cada uno a su manera, la pregunta propuesta por Tamres y Bailar Jr. (1952):

“¿Se puede diseñar un solo curso para suplir todas las necesidades de todos los estudiantes?”

1. UREY, H.C. (1929). The teaching of atomic structure to physical chemists: Round-table discussion. *J. of Chemical Education*. 6 (2), pp.284-285.
2. WISWESSER, W.J. (1945). The periodic system and the atomic structure. I. An elementary physical approach. *J. of Chemical Education*. 22, pp.314-321.

3. SISLER, H.H. (1948). Why should theoretical principles be used in teaching elementary chemistry? *J. of Chemical Education*. 25, pp.562- 565.
4. TAMRES, M. y BAILAR, J.C.Jr. (1952). The course in general chemistry. *J. of Chemical Education*. 29, pp.217-219.
5. WHITMAN, M. (1984). Updating the atomic theory in general Chemistry. *J. of Chemical Education*. 61 (11), pp. 952-956.
6. WOODGATE, S.D. (1995). First-year chemistry in the context of the periodic table. *J. of Chemical Education*. 72 (7), pp.618-622.
7. GLICKSTEIN, N. (1999). Before there was chemistry: The origin of the elements as an introduction to chemistry. *J. of Chemical Education*. 76 (3), pp.353-355.
8. WALDRON, K.A., FEHRINGER, E.M., STREEB, A.E., TROSKY, J.E. y PEARSON, J.J. (2001). Screening percentages based on Slater effective nuclear charge as a versatile tool for teaching periodic trends. *J. of Chemical Education*. 78 (5), pp.635-639.
9. YIN, M. y OCHS, R.S. (2001). The mole, the periodic table, and quantum numbers: an introductory trio. *J. of Chemical Education*. 78 (10), pp.1345-1347.

1.9.2. Programas para la carrera química (currículo)

En este artículo se comenta sobre la celebración de los 75 años de American Chemical Society y se discute sobre los cambios que ha habido tanto a nivel de la química como de la industria química.

10. ELVING, P.J. (1952). The curriculum in chemistry. *J. of Chemical Education*. 29, pp.216-217

1.9.3. Propuestas para la enseñanza

En este apartado se encuentran artículos con propuestas para la enseñanza de un tema específico o se narran experiencias particulares.

1.9.3.1 De la tabla periódica

Estos tres artículos presentan una propuesta para una base de datos sobre la tabla periódica, una tabla periódica hecha con sellos de correos diseñados por los estudiantes, y el tercero narra la experiencia de un profesor que prestó su coche para que sus estudiantes pintaran la tabla periódica en él y la pasearan por toda la ciudad.

11. GOTH, G. W. (1986). The periodic table as a data base. *J. of Chemical Education*. 63 (10), pp.836-837.
12. GARRIGÓS, LI, FERRANDO, F. y MIRALLES, R. (1987). A simple postage stamp periodic table. *J. of Chemical Education*. 64 (8), pp.682-685.
13. DREYFUSS, D. (2000). A rolling periodic table. *J. of Chemical Education*. 77 (4), p.434.

1.9.3.2. De reacciones nucleares

Los autores comentan un juego de mesa para que los estudiantes aprendan sobre las reacciones nucleares, tanto síntesis como decaimiento.

14. OLBRIS, D.J. y HERZFELD, J. (1999). Nucleogenesis! A game with natural rules for teaching nuclear synthesis and decay. *J. of Chemical Education*. 76 (3), pp.349-352.

1.10. Historia o filosofía

El siguiente grupo de artículos hace referencia a la historia del átomo o de la tabla periódica y a la importancia de los aspectos históricos y filosóficos en la química y su enseñanza.

1.10.1. Historia: átomo

Varios de ellos hacen un recuento histórico del desarrollo de la teoría atómica y algunos además destacan la estrecha relación entre la ontogenia y la filogenia. En este sentido Horne (1958) afirma que indudablemente, el desarrollo del conocimiento científico en niños y en las culturas siguen una trayectoria natural similar, sugiriendo una eficacia especial en la presentación histórica de las ciencias naturales.

1. FOSTER, W. (1926). From atom to life. *J. of Chemical Education*. 3 (12), pp.1391-1401.
2. DAVEY, W.P. (1927). The reality of atom. *J. of Chemical Education*. 4 (3), pp.327-332.
3. WISWESSER, W.J. (1945). The periodic system and the atomic structure. II. Detailed introduction to the wave mechanical approach. *J. of Chemical Education*. 22, pp.370-379.
4. SCOTT, J.H. (1959). The nineteenth century atom: Undivided or Indivisible? *J. of Chemical Education*. 36, pp.64-67.
5. HORNE, R.A. (1958). Atomistic notions in young children and young cultures. *J. of Chemical Education*. 35, pp.560-561.
6. GORMAN, M. (1960). Philosophical antecedents of the modern atom. *J. of Chemical Education*. 37 (2), pp.100-104.
7. KOLB, D. (1977). But if atoms are so tiny... *J. of Chemical Education*. 54 (9), pp.543-547.
8. MIERZECKI, R. (1981). Dalton's atoms or Dalton's molecules? *J. of Chemical Education*. 58, p.1006.

9. LEARY, J.J. y KIPPENY, T.C. (1999). A framework for presenting the modern atom. *J. of Chemical Education*. 76 (9), pp.1217-1218.
10. HOFFMAN, D.C. y LEE, D.M.(1999). Chemistry of the heaviest elements – one atom at a time. *J. of Chemical Education*. 76 (3), pp.331-347.

1.10.2. Historia: Tabla periódica

Estos artículos narran distintos aspectos de la historia que llevó a la tabla periódica de Mendeleiev. Algunos destacan otras propuestas como las de Döbereiner o Newlands, otros cuentan sobre la equivocada inclusión del éter en la tabla, por parte de Mendeleiev y otros hacen una evaluación resumida de los distintos formatos de tabla periódica propuestos a lo largo del tiempo.

11. MONTGOMERY, J.P. (1931). Döbereiner's triads and atomic numbers. *J. of Chemical Education*. 8 (1), pp.168.
12. STANDEN, A. (1947). The fairy story of atomic weights. *J. of Chemical Education*. 24, pp.143-145.
13. TAYLOR, W.H. (1949). J.A.R. Newlands: a pioneer in atomic numbers. *J. of Chemical Education*. 26, pp.491-496.
14. VAN SPRONSON, J.W. (1959). The prehistory of the periodic system of the elements. *J. of Chemical Education*. 36 (7), pp.565-567.
15. ANDERS, O.U. (1964). The place of isotopes in the periodic table. The 50th anniversary of the Fajans-Soddy displacement laws. *J. of Chemical Education*. 41 (10), pp.522-525.

16. KARGON, R. (1965). Mendeleev's chemical ether, electrons, and the atomic theory. *J. of Chemical Education*. 42 (7), pp.388-389.
17. FERNELIUS, W.C. (1986). Some reflections on the periodic table and its use. *J. of Chemical Education*. 63 (3), pp.263-266.

1.10.3. Historia: Elemento

Menschutkin hace un recuento de la historia del elemento químico hasta la última definición aceptada en su momento.

18. MENSCHUTKIN, B.N. (1937). Historical development of the conception of chemical elements. *J. of Chemical Education*. 14, pp.59-61.

1.10.4. Filosofía

El autor hace una comparación paralela entre "la cadena del ser" (o la cadena de los seres vivos) y los elementos químicos.

19. BENFEY, O.T. (1965). "The great chain of being" and the periodic table of the elements. *J. of Chemical Education*. 42 (1), pp.39-41.

1.10.5. Otras historias

El autor cuenta como Thomas Midgley se basó en la tabla periódica para encontrar un aditivo antidetonante que mejorara la eficiencia de las máquinas. Jocosamente dice que probó más de 33.000 compuestos, siguiendo lo que él mismo denominó un acercamiento al método Edisoniano.

20. NAGEL, M.C. (1981). Dr. Thomas Midgley: "From the periodic table to production". *J. of Chemical Education*. 58 (6), pp. 496-497.

1.11. Analogías, cuentos y poemas

En este último apartado se recoge algunas analogías, cuentos y poemas sobre los temas de interés en este trabajo.

1.11.1. Cuentos y poemas

En el primer artículo (Erwin, 1925), la autora hace la narración de una fiesta infantil a la que han sido invitados los elementos para celebrar la fiesta de cumpleaños del hidrógeno. Organizan un juego en el que todos han de acomodarse de acuerdo a sus pesos en siete filas de ocho asientos cada una.

29. ERWIN, E.(1925). The periodic law. A bedtime story for wide-awake children. *J. of Chemical Education*. 2 (6), pp.497-498.
30. JOHNSON, E.N. (1970). What's an atom? *J. of Chemical Education*. 47 (7), p.500.
31. WILLIAMS, K.R. y MYERS, G.H. (1999). The Cinderella Story revisited – again. *J. of Chemical Education*. 76 (1), p.19.

1.11.2. Analogías

A continuación aparecen los artículos relacionados con las analogías, algunas de las cuales también fueron propuestas por los profesores de nuestra investigación.

1.11.2.1. Estructura atómica

Los autores presentan la analogía del salón de clase para explicar los números cuánticos.

32. KHANG GOH, N., SAI CHANG, L. y TAN, D. (1994). Some analogies for teaching atomic structure at the high school level. *J. of Chemical Education*. 71 (9), pp.733-734.

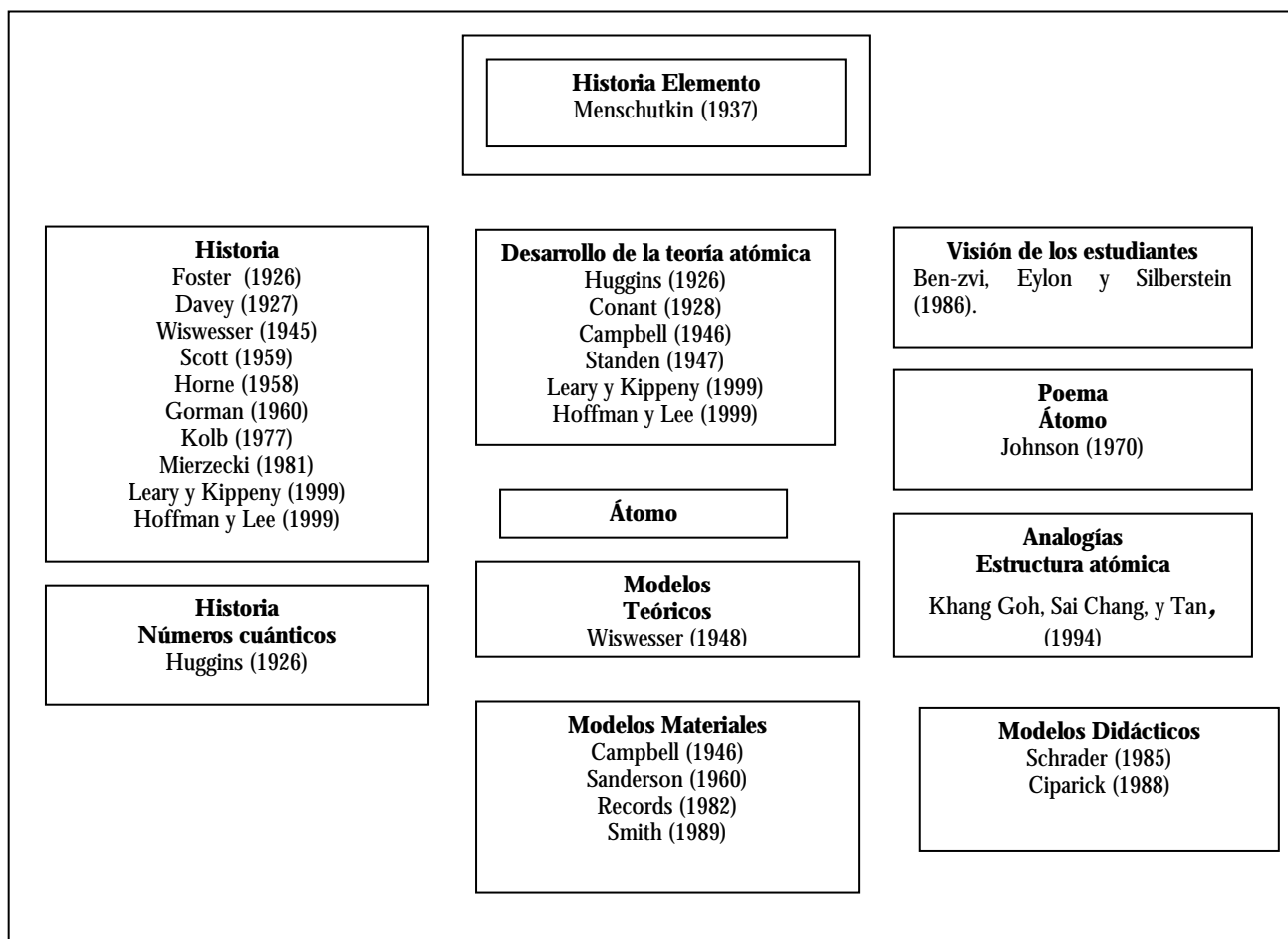
1.11.2.2. Mol, tamaño y masa atómica promedio

En general son analogías propuestas para facilitar el aprendizaje de algunos conceptos específicos.

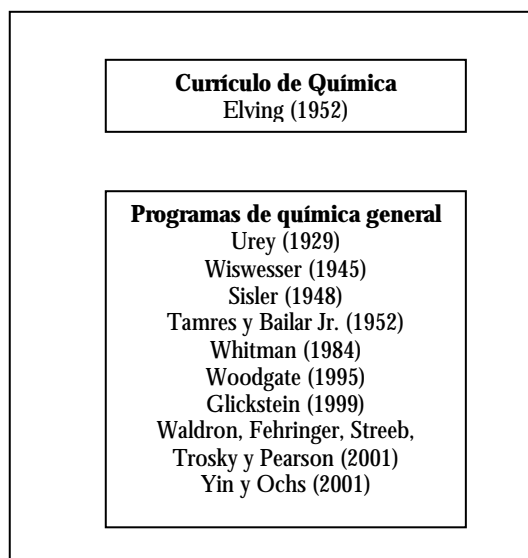
33. ALEXANDER, M.D., EWING, G.J. y ABBOTT, F.T. (1984). Analogies that indicate the size of atoms and molecules and the magnitude of Avogadro's number. *J. of Chemical Education*. 61 (7), p.591.
34. ARCE DE SANABRIA, J. (1993). Relative atomic mass and the mole: A concrete analogy to help students understand these abstract concepts. *J. of Chemical Education*. 70 (3), pp.233-234.
35. LAST, A..M., (1993). Using monetary analogies to teach average atomic mass. *J. of Chemical Education*. 70 (3), pp.234-236.

Los cuadros 1, 2 y 3 condensan la información recogida en este apartado.

<p>Números cuánticos y tabla periódica Van Rysselberghe (1935) Hazlehurst (1941) Wiswesser (1945) Simmons (1947) Longuet-Higgins (1957) Blinder (1981)</p>	<p>Formato Sears (1924) Graves (1929) French (1937) Foster (1939) Hazlehurst y Fornoff (1943) Coryell (1952) Strong (1959) Sanderson (1964) Ternstrom (1964) Editor (1964) Fernelius y Powell (1982) Loening (1984) Guenther (1987) Sharma (1988) Campell (1989) Bouma (1989) Laing (1989) Levine (1990) Carrado (1993) He y Li (1997) Balaban (1999)</p>	<p>Isótopos y la Tabla Periódica King y Fall (1940) Firsching (1981) Balaban (1999).</p>
<p>Tabla periódica basada en estructura electrónica Courtines (1925) Monroe y Turner (1926) Ebel (1938) Luder (1939) Luder (1943) Babor (1944) Emerson (1944) Wagner y Simmons Booth (1945) Szabo y Lakatos (1957) Fernelius (1986)</p>	<p>Otras propuestas de tabla periódica Treptow (1994)</p>	<p>El núcleo y la tabla periódica Blanck (1989) Huizenga (1993) Gerothanassis y Kalodimos (1996)</p>
<p>Configuración electrónica a partir de la tabla periódica Strong (1986) Ludwig (1992) Mabrouk (2003)</p>	<p style="text-align: center;">TABLA PERIÓDICA</p>	<p>Tabla Periódica y las propiedades de las Sustancias Szabo y Lakatos (1957) Ternstrom (1964) Singman (1984) Dutch (1999) Marshall (2000)</p>
<p>Periodicidad Goh y Chia (1989) Rayner-Canham (2000) Editorial (2003)</p>	<p>Propuestas para la enseñanza de la Tabla Periódica Goth (1986) Garrigós, Ferrando y Miralles (1987). Dreyfuss (2000).</p>	<p>Historia Tabla periódica Montgomery (1931) Standen (1947) Taylor (1949) Van Spronson (1959) Anders (1964) Kargon (1965) Fernelius (1986)</p>
<p>Propiedades periódicas Mason (1988) Cann (2000)</p>	<p>Cuentos Tabla periódica Edwin (1925) Williams y Myers (1999)</p>	<p>Filosofía Tabla periódica Benfey (1965)</p>
	<p>Modelos Materiales Campbell (1946) He y Li (1997)</p>	<p>Otras historias Tabla periódica Nagel (1981)</p>
	<p>Modelos Didácticos Fowler (1981) Strong (1986) Bolmgren (1995)</p>	



Cuadro 2



Cuadro 3

Capítulo 5

Una transposición

1. Análisis de la revisión de los libros de texto de Química General

“La creación y la transmisión de conocimientos científicos es una de las tareas irrenunciables de cualquier sociedad que pretenda ser moderna y competitiva” (Costa et al,1993). Sin embargo, una de las principales inquietudes de los profesores a lo largo de la historia ha sido poder contar con un buen libro de texto que sirva de guía y de soporte para sus cursos (Justi y Gilbert, 2002).

Esta preocupación ha llevado a algunos personajes de la química a escribir sus propios textos, entre ellos Lavoisier, con su *Tratado de química* en 1750 y Dimitri Mendeleiev, quien según Solans (1997) redactó sus famosos *Principios de química* en 1869 porque: *“Preparando sus lecciones no encontró ningún texto que recomendar a sus alumnos, y decidió escribirlo él mismo”*. Claro que, en el caso de Mendeleiev esta necesidad tuvo resultados provechosos para la humanidad, ya que de sus reflexiones para la elaboración de sus notas de clases, surgió el sistema periódico.

Esta situación subsiste en nuestros días, y de hecho, la mayoría de los programas de los cursos se diseñan basados en los libros de texto que se consiguen en el mercado o que están al alcance de los estudiantes en la bibliotecas universitarias.

De acuerdo con Schubring, citado por Sierra et al (1999):

“...si se parte del hecho de que la práctica de la enseñanza no está tan determinada por los decretos y órdenes ministeriales como por los libros de texto utilizados para enseñar, se llega a la necesidad de un análisis de dichos libros de texto”.

Sabemos que los libros de textos son agentes activos de la transposición didáctica no sólo porque muchos currículos se basan en ellos, o porque la gran mayoría de los profesores se apoyan en ellos para la preparación de sus clases y de sus evaluaciones, sino, porque muchas veces los estudiantes acceden directamente a ellos sin la mediación del profesor.

A medida que he ido realizando esta investigación, se me han ido presentando una serie de inquietudes alrededor de este hecho y han ido apareciendo una serie de evidencias que, aunque las presentía, no me había preocupado nunca por constatar. Quizás porque a lo largo de mi carrera docente he ido corrigiendo y aumentando el material que utilizo para mis clases, y por mi marcada tendencia hacia la química inorgánica, que hace un estudio más profundo y riguroso de la tabla periódica que los cursos generales, no había tomado conciencia de la forma cómo se presentan algunos temas, en este caso particular, el de la tabla periódica, en los diversos textos de Química general a los que los estudiantes tienen acceso.

Por ejemplo, si el profesor o la profesora no acuerda con sus estudiantes desde el principio del tema los términos con los que se referirán a determinados conceptos, o las convenciones de los signos para las energías o para los grupos de la tabla periódica (Fernelius y Powell, 1982):

¿Cuál será el referente de los estudiantes?

¿Se dice “sustancia” o “sustancia pura”?

¿Cómo se define un elemento?

Cuándo se menciona el grupo III B, ¿de cuáles elementos están hablando, de la familia del boro o de la del escandio?

Una afinidad electrónica alta, ¿se representa por un valor positivo o negativo?

Para responder estas y otras inquietudes del mismo corte, se revisaron 27 textos de química general publicados a partir de 1967.

Ahora, bien, puesto que el tema central de este trabajo es la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química en la Universidad, en este capítulo analizaré, en primer lugar, el citado libro de Dimitri Mendeleiev, en particular su último capítulo dedicado a la ley periódica. La elección de este texto se debe, primero, a que existe un consenso entre la comunidad química acerca de que Mendeleiev logró resumir en su tabla periódica y en su ley general un trabajo que durante muchos años habían estado realizando científicos de todo el mundo para organizar los elementos químicos conocidos hasta ese entonces y, segundo, porque la tabla periódica que conocemos hoy en día no es más que una versión ampliada y mejorada de la que Mendeleiev propuso hace más de un siglo. Además, a diferencia de lo que afirma Brooke (2000, p.1) refiriéndose a la generalidad de los libros de texto, el libro *Principios* sí permite “recuperar los momentos creativos de innovación científica en los que se forja el conocimiento científico”. Esta forma de presentar su trabajo que da la oportunidad a sus lectores de acompañarlo, paso a paso, en sus descubrimientos y conclusiones, logró que la ciencia ganara más de un adepto (Brooks, 2000).

Como ya se indicó en la metodología, en segundo lugar, se realiza el análisis del libro “The periodic table of the elements” de R.J. Puddephatt y P.K. Monaghan, Oxford Science Publications, 2ª edición, Oxford, (1990), como un ejemplo de texto que accede a la enseñanza de la tabla periódica desde la configuración electrónica, es decir, por un camino completamente diferente al seguido por Mendeleiev. Y, en tercer lugar comentaré los 6 libros de texto de química universitaria publicados a finales del siglo XIX y principios del XX, después de los *Principios*, con el fin de hacernos una idea de cómo se fueron incorporando las ideas de Mendeleiev a los libros universitarios (Bouma, 1989).

Finalmente, se hace una revisión de 27 textos de química general publicados a partir de 1967, es decir, prácticamente un siglo después de la aparición de la ley periódica en los *Principios*, y que suelen ser utilizados como libros de referencia en los cursos de química general universitaria.

Esta última revisión pretende, fundamentalmente, conocer qué visión de elemento manifiestan estos libros, desde dónde acceden al estudio de la tabla periódica (desde la historia, o desde el estudio de las sustancias o desde la configuración electrónica) y cuáles

propiedades atómicas, determinadas a la luz de la teoría atómica moderna, son presentadas y cómo se hace. Estos resultados se contrastarán más adelante con las tendencias de los profesores al enseñar el tema de tabla periódica en los primeros cursos de química en la universidad.

Para el análisis de los textos se utilizó la plantilla #1 mostrada en la metodología, página 91

1.1. Revisión del libro *Principios de Química* de Dimitri Mendeleiev

La formulación de la ley periódica, como tantos otros hechos históricos de la humanidad, está envuelta en el halo mágico de la leyenda.

“Si aprendemos a soñar podremos, a lo mejor, descubrir la verdad. Pero cuidémonos de publicar nuestros sueños hasta que hayan sido probados en nuestra conciencia despierta”.
Kekulé

Cuentan que Mendeleiev era un fanático jugador de solitarios (Strathern, 2000), que pasaba horas enteras ordenando naipes por palos de la baraja, de mayor a menor, de menor a mayor, y que una tarde, se quedó dormido con su abanico de cartas en la mano y en su sueño vio como los elementos se organizaban, como su juego que estaba a medio hacer.

La verdad es que el “Ensayo sobre un sistema de los elementos según sus pesos atómicos y funciones químicas” aparecido el 1 de marzo (17 de febrero en el antiguo calendario ruso) de 1869 fue el resultado de un largo y arduo trabajo de Mendeleiev y no sólo el recuerdo somnoliento de una siesta.

En 1860, el químico Augusto Kekulé, otro “soñador” según la historia mítica, convocó a los químicos de renombre internacional al Primer congreso internacional de Química con el fin de estandarizar los conceptos básicos de átomo, molécula y formas equivalentes.

Allí, en discusiones con personajes de la talla de Zinin, Dumas, Wurtz y Cannizzaro, (Solans, 1997), Mendeleiev se adhirió a la ley de Avogadro-Gerhart, fuertemente defendida por Cannizzaro, según la cual la concepción de molécula quedaba perfectamente definida y, por ende, su peso atómico.

“Se llama partícula, o partícula química, o molécula, a la cantidad de sustancia que interviene en una reacción química con otras moléculas que, en estado de vapor, ocupa el mismo volumen que dos partes en peso de hidrógeno. Los átomos son las cantidades más pequeñas, o las masas químicas indivisibles de los elementos, que forman las moléculas de los cuerpos simples y compuestos” (Bensaude-Vincent, 1995).

Antes de Mendeleiev otros habían tratado de organizar los cuerpos simples conocidos, pero hasta entonces el resultado sólo había sido largas listas descriptivas, tediosas y difíciles de recordar, sobre todo para los novatos. Así fue que Mendeleiev, se dispuso a redactar su libro *Principios de química* para su curso en la Universidad de San Petersburgo y de paso, fue construyendo, pieza a pieza, el sistema periódico de los elementos químicos del cual nos hemos beneficiado los químicos para comprender y explicar el comportamiento de los átomos y de las sustancias.

Considero un privilegio haber podido consultar este libro en el Ateneo de Barcelona y, por tanto, me he atrevido a traducir varios de sus apartes más relevantes en lo concerniente a la elaboración y promulgación de la ley periódica.

Por otra parte, quiero aclarar antes de comenzar que la revisión de este y los otros textos escogidos no pretende constituirse en un análisis profundo del texto en sí, sino, como ya se dijo anteriormente, mostrar un panorama de lo que ha sido la presentación de la tabla periódica en los libros universitarios de Química desde que ésta apareció en ellos por primera vez.

La tabla 1 constituye la ficha bibliográfica del libro y resume sus principales características.

El libro está escrito en un estilo magistral (según Izquierdo, 2002), con un lenguaje claro y fluido, fácil de leer. Su intención es que el lector vaya construyendo su conocimiento de

Título:	PRINCIPES DE CHIMIE (2 TOMOS)		
Autor:	MENDELEEFF, Dimitri		
Editorial:	Bernard Tignol		
Edición:	1ª en francés, 6ª en ruso		
Ciudad:	París		
Año:	No lo dice (1897 según Bensaude-Vincent,(1994) Bulletin de l'union des physiciens, 88,766, p.1121)		
Nivel:	Universitario		
# total de páginas:	1085 (2 tomos)		
Idioma:	francés		
# de capítulos	15		
# del capítulo tabla periódica:	15		
# de páginas Tabla Periódica:	60		
# ejercicios tabla periódica	No tiene		
# de los grupos (A y B)			
Propiedades Atómicas			
Otras Propiedades: sustancia	Peso atómico, isomorfismo, formación de compuestos con H y O		
Punto de Partida Tabla Periódica:	Diferencias entre halógenos y metales alcalinos, similitudes entre elementos de una misma familia		
# de Capítulos Química descriptiva:	14		
# Páginas Química descriptiva:	960		
# ejercicios química descriptiva	No tiene		
Hace recuento histórico	Sí		
Sustancia Simple diferente elemento	Sí (cuerpo simple y elemento) - dice sustancia		
Define elemento como inmutable, lo que permanece	lo	Sustancia q no puede dividirse en otras (cuerpo simple) X	Consiste en Z o # de protones en su núcleo
Contenido			
Capítulo #	Nombre		
	I Tomo		
	Prefacio de M. Le professeur Armand Gautier		
	Introducción		
1	El agua y sus combinaciones		
2	Composición del agua y del hidrógeno		
3	El oxígeno		
4	Ozono y peróxido de hidrógeno. Ley de Dalton		
5	Azote y aire atmosférico		
6	Compuestos hidrogenados del azote		
7	Moléculas y átomos		
	Adiciones a los capítulos 1,2,3		
	II Tomo		
8	Carbono e hidrocarburos		
9	Combinaciones del carbono con el oxígeno y el nitrógeno		
10	Cloruro de sodio. Leyes de Berthollet. Ácido clorhídrico		
11	Los halógenos. Cloro, bromo, yodo y fluor		
12	Sodio		
13	Potasio, rubidio, cesio, litio. Análisis espectroscópico		
14	Los equivalentes y la capacidad calorífica de los metales. Magnesio, calcio, estroncio, bario y glucinio (berilio)		
15	Similitud de los elementos y ley periódica		

Tabla 1

forma paralela a como el autor lo ha ido elaborando. Para eso, tiene casi tantas explicaciones a pie de página como texto principal. Estas notas van dando definiciones, ejemplos, analogías de la vida cotidiana. Mendeleiev se vale de todos los recursos para que el lector comprenda. De acuerdo con Nye (2000), para los estudiantes principiantes bastaba con leer sólo el texto principal, mientras que aquellos que querían aprender más detalles técnicos e históricos, podían ir también a los pies de página y a la letra menuda.

En él se cita a otros científicos tanto contemporáneos, como anteriores a él, como por ejemplo Lavoisier, a quien se refiere como “el fundador de la química moderna” y añade: *“la ciencia es un patrimonio común y la equidad exige que la mayor gloria científica sea no para el primero en enunciar una verdad, sino para quien ha sabido desarrollarla, demostrarla y hacerla un bien común”*. De alguna manera, es lo que muchos piensan que hizo el mismo Mendeleiev con el sistema periódico.

Sus explicaciones y experimentos van acompañados de dibujos que facilitan su comprensión.

De una forma holista, incluye en sus *Principios*, además de la química en sí misma, referencias históricas y biográficas e incluso les indica a sus lectores (sus alumnos potenciales) lo que, para él, significa estudiar, y para ello da siete definiciones, la primera de las cuales dice:

“Estudiar es encontrar la relación que existe entre el objeto del estudio y los conocimientos resultantes, sea de la experiencia y de la observación de condiciones ordinarias de la vida, sea de estudios anteriores. Es decir, en una palabra, determinar y experimentar, en medio de lo conocido, la calidad de lo desconocido”.

Como la mayoría de textos de química actuales, incluye en su introducción – que tiene una extensión de 64 páginas - la definición de Química, diciendo:

“la química se ocupa del estudio de sustancias que por sus diversas combinaciones constituyen todos los cuerpos que nos rodean. Se ocupa de las transformaciones de estas sustancias entre sí y de los fenómenos que las acompañan.”

Es interesante notar que esta definición, como se verá más adelante, se conserva prácticamente igual en nuestros días; sin embargo, mientras Mendeleiev se refiere a **sustancias**, la mayoría de los textos de ahora las denominan **sustancias puras**.

Me parece importante transcribir aquí algunos apartes de esta rica introducción, puesto que Mendeleiev se toma el trabajo de ir aclarando ciertos términos que él considera fundamentales e imprescindibles para poder comprender todo lo que pretende enseñar en su libro. Según sus propias palabras: *“No se puede comenzar ningún estudio sin tomar como punto de partida ciertas nociones evidentes y aceptadas como tales por nuestros espíritus”*.

*“En química, hasta ahora, es la noción de **cuerpo simple** la que debe ser admitida sin discusión”*

*“Llamamos **sustancia o materia** a todo aquello que ocupa un lugar en el espacio, tiene un peso, forma una masa atraída por la tierra o por otras masas materiales. Es todo lo que entra en la composición de los **cuerpos** y con lo cual se llevan a cabo los movimientos y los fenómenos de la naturaleza.”*

*“Una **sustancia homogénea** presenta las mismas propiedades en todas sus partes”[...] “Los **cuerpos heterogéneos** son mucho más numerosos en la naturaleza y en los astros. La mayoría de las piedras son heterogéneas”.*

*“La química no se ocupa sino de los **cuerpos homogéneos** existentes en la naturaleza o extraídos de productos heterogéneos, naturales o artificiales.”*

*“Llamamos **cuerpo** a toda sustancia limitada por superficies y que tenga forma, sea lo que sea. [...] Es evidente que la idea de **materia** es más general que la de **cuerpo**, aunque a menudo se confunden en el lenguaje usual. Generalmente, llamamos **cuerpo** a una **sustancia determinada**. Entonces, en vez de decir **cuerpos químicos simples o compuestos**, debemos decir **sustancias simples o compuestas**.”*

Otro concepto que Mendeleiev deja claro antes de comenzar propiamente su curso de química, es el de reacción química, en términos de transformaciones químicas o fenómeno químico. Esto es lo que al respecto dice el maestro:

*“Llamamos **fenómeno** a toda modificación de las propiedades de las sustancias y de los cuerpos, en el tiempo. El estudio de los fenómenos es el objeto de la física”.*

*“Todas las modificaciones químicas, o **reacciones**, no ocurren si no hay contacto completo e íntimo entre las sustancias en cuestión. Ellas están determinadas por fuerzas inherentes a las partículas más pequeñas de la materia”.*

“Cuando en el interior de un cuerpo se produce una modificación de la sustancia, sin un movimiento visual y sin acción de un cuerpo extraño (por ejemplo, el vino de uvas que “envejece” y adquiere un bouquet especial), eso puede ser un “fenómeno químico”. Pero en circunstancias ordinarias, toda transformación química es el resultado de la acción mutua de cuerpos distintos que, inicialmente separados, se penetran después los unos en los otros”.

“Hay que distinguir tres géneros principales de transformaciones químicas: 1º la combinación, 2º la descomposición y 3º el desplazamiento o reacciones por sustitución”.

Me llama la atención que Mendeleiev considerara requisito indispensable el contacto completo e íntimo entre las sustancias en cuestión, cuando desde principios del siglo XIX ya se conocía la pila de Volta en la que puede haber reacción aunque los reactivos estén separados. No obstante, la siguiente frase: *“...están determinadas por fuerzas inherentes a las partículas más pequeñas de la materia”* deja en entredicho si se está refiriendo a los átomos, o, si está dejando abierta la posibilidad de que el átomo no sea en realidad indivisible, aunque en ese momento aún no hubiera evidencias de su divisibilidad.

Por otra parte, el “envejecimiento de las uvas”, es uno de los ejemplos típicos de “la vida cotidiana” que se siguen utilizando todavía (Zumdahl, 1992) para explicar lo que es una reacción química y para diferenciar un cambio químico de uno físico.

Mendeleiev utiliza a veces en su libro la duda retórica (Izquierdo, 2002), y se pregunta, por ejemplo: *“Teniendo la ley de la conservación, ¿es posible que una sustancia se transforme infinitamente en otras? ¿o el círculo de transformaciones es limitado?”* Y, continuando este diálogo implícito con el lector, dice: *“la segunda pregunta fundamental de la química es sobre la **calidad** de la materia, más difícil de responder que la de la **cantidad**”.*

Afirma que es a Lavoisier a quien se debe la introducción de la noción de cuerpo simple, como aquel que no se puede crear, ni se puede dividir en otros más simples, pero sí se puede combinar para formar otros cuerpos. Sin embargo, Mendeleiev llama la atención sobre el hecho de que la definición de Lavoisier es una definición negativa: (los cuerpos simples) **no** se descomponen y **no** se transforman y propone una definición alternativa afirmativa de definir los cuerpos simples, tal como:

“...que tienen la posibilidad de conducir corriente galvánica sin descomponerse y que las pruebas espectroscópicas muestran que existen en los astros más alejados de la tierra y no se descomponen ni con las altísimas temperaturas que allí se producen”.

“Todos los cuerpos homogéneos pueden clasificarse en simples y compuestos. Los cuerpos simples son incapaces de transformarse unos en otros. [...] La idea misma de un cuerpo simple es incompatible con la posibilidad de descomposición”.

“La cantidad de cada cuerpo simple permanece constante en todas las reacciones químicas: esto es consecuencia de la ley de la conservación de la materia y de la idea de cuerpo simple”

“Los cuerpos simples se designan por una o dos letras. Los cuerpos compuestos se designan por la juxtaposición de los cuerpos simples, por ejemplo: HgO.”

“Al símbolo de cada cuerpo simple corresponde un cierto peso relativo, llamado peso atómico, así que la fórmula química de un cuerpo compuesto expresa no sólo la calidad de los cuerpos simples que lo constituyen, sino también la proporción cuantitativa de cada uno de ellos”.

“En una reacción química los productos sólo pueden contener los cuerpos simples presentes en los reactivos. [...] El cuerpo simple es entonces siempre el punto de partida, la noción primitiva a la cuál se refieren todas las demás. [...] La composición de un cuerpo compuesto es, en una palabra, la expresión de las transformaciones de que es capaz un cuerpo simple. Por ejemplo, el oxígeno contenido en el HgO no es oxígeno gaseoso”.

Como veremos, para Mendeleiev no existía confusión entre sustancia (cuerpo homogéneo) y elemento.

“Hay que distinguir entre la noción de cuerpo simple como sustancia homogénea aislada o como parte invisible, pero material, del cuerpo compuesto. El óxido rojo de mercurio no contiene dos cuerpos simples, un metal y un gas, sino dos elementos, Hg y O, lo que hay en ese óxido es “la sustancia de esos cuerpos simples” (como el pan encierra la sustancia del trigo y no el trigo en sí).”

Quiero resaltar aquí el uso de la analogía como facilitadora de la comprensión de los conceptos que está introduciendo.

“Es posible concebir la existencia de un cuerpo simple sin conocer ese cuerpo en sí, basta con estudiar sus combinaciones y saber que en todas las circunstancias ellas darán origen a cuerpos diferentes a las otras combinaciones que ya conocemos”.

“Para comprender mejor la diferencia entre la noción de cuerpo simple y la de elemento (o radical, como decía Lavoisier) es necesario remarcar que los cuerpos compuestos pueden formar, combinándose entre sí, cuerpos aún más complejos, intercambiando calor. El cuerpo compuesto primitivo puede ser extraído de estas nuevas combinaciones, exactamente por los mismos procedimientos que se emplean para la extracción de los cuerpos simples de sus combinaciones respectivas. Conocemos un cierto número de cuerpos simples que se presentan bajo modificaciones diferentes”.

“El elemento, al contrario, no sufre ninguna modificación, es una cosa inmutable. Encontramos, por ejemplo, en la naturaleza el carbono bajo la forma de carbón, grafito y diamante, que son cuerpos simples diferentes pero constituidos por un elemento único: el carbono, que existe igualmente en el ácido carbónico, pero que no está formado ni por el carbón, ni por el grafito, ni por el diamante”.

“En todo caso, la noción de cuerpo simple constituye la base de la química...”

El cuerpo simple parece ser entonces la sustancia macroscópica, tangible, cuya apariencia depende, tanto si se trata de una sustancia simple como de una compuesta, de la forma cómo se organicen los átomos del elemento en el primer caso, o de los elementos, en caso de un compuesto. De ahí las diferencias en las propiedades tanto de los alótropos como de los isómeros. Mendeleiev confirma este planteamiento al afirmar que:

“Las formas y las propiedades de las sustancias son determinadas por el agrupamiento de los átomos en el espacio y por el estado de su movimiento, por lo tanto, se supone que los fenómenos que se producen en las sustancias son los resultados de los cambios de posición recíproca de los átomos y del movimiento que se les puede atribuir”.

El concepto de elemento sigue siendo el de algo abstracto, que se materializa a través de los átomos en las sustancias. Lo que tienen en común el carbón, el grafito, el diamante o el ácido carbónico, utilizando los ejemplos de Mendeleiev, es la presencia de átomos con seis protones en su núcleo, al que denominamos el elemento químico carbono.

En el capítulo cuarto, titulado: Ozono y peróxido de hidrógeno, Mendeleiev habla sobre la teoría atómica de Dalton, y dice:

“En su esencia, la doctrina atómica supone que la materia está formada por la aglomeración de pequeñas partículas indivisibles, llamadas átomos. Los átomos no ocupan todo el espacio ocupado por un cuerpo, sino que se encuentran a cierta distancia unos de otros, igual que el sol y las estrellas no ocupan todo el espacio del universo y están alejados unos de otros. [...] el mundo de los átomos sería construido como el mundo de los astros, con sus soles, sus planetas, sus satélites, animados por la fuerza vital del movimiento, formando moléculas, como los astros forman sistemas...”

Otra vez aparece el uso de las analogías como recurso para modelizar el concepto que quiere explicar. Este mismo modelo del sistema solar fue el utilizado posteriormente, como ya se sabe, por Niels Bohr para explicar la constitución interna de los átomos.

Mendeleiev continúa discutiendo acerca de la doctrina atomista de Dalton, la compara con la de los antiguos filósofos griegos y con quienes proclaman que las sustancias son una manifestación de fuerzas. Finalmente, concluye:

“Los átomos son los individuos de los cuerpos simples, indivisibles por fuerzas físicas o químicas. Los individuos de los cuerpos compuestos se llaman moléculas y son indivisibles por fuerzas físicas, pero pueden ser divididos en átomos bajo la influencia de agentes químicos. Las moléculas también son llamadas partículas”.

Más adelante, en el capítulo VIII, que tiene el encabezamiento de “Moléculas y átomos. Leyes de Gay – Lussac y de Avogadro – Gerhardt, Mendeleiev retoma el tema de las moléculas diciendo: *“ la molécula de todo cuerpo compuesto contiene por lo menos dos átomos. Algunos elementos tienen una molécula compleja como el oxígeno”* – que Mendeleiev representa por O^2 -. Aquí también menciona el azufre como S^6 y el fósforo, P^4 . Y a continuación añade: *“Podemos suponer además que las moléculas de los cuerpos simples se desdoblán en moléculas más simples, conteniendo un solo átomo. Si el ozono, O^3 da O^2 , este último se puede descomponer para dar O .*

Nótese que Mendeleiev cae en una aparente contradicción, pues por una parte acaba de afirmar que *“la molécula de todo cuerpo compuesto contiene por lo menos dos átomos”* y después, en cambio, manifiesta que *“las moléculas de los cuerpos simples se desdoblán en moléculas más simples, conteniendo un solo átomo”.*

Es importante recordar aquí que precisamente para aclarar toda esta nueva terminología, los químicos del mundo se habían reunido recientemente en Karlsruhe que, sin embargo, aún seguían utilizando, a veces, indistintamente y con un sentido diferente al que le damos hoy en día.

Después de una larga disertación sobre los pesos atómicos, Mendeleiev vuelve a la ley de Avogadro – Gerhardt para definir:

“partícula o partícula química o molécula como la cantidad de sustancia que entra en una reacción química con otras moléculas y que ocupa, en el estado de vapor, el mismo volumen que dos partes en peso de hidrógeno”.

Y continúa:

“Los átomos son las cantidades más pequeñas, o las masas químicas indivisibles de los elementos, que forman las moléculas de los elementos, que forman las moléculas de los cuerpos simples o compuestos. [...] Los elementos se caracterizan no sólo por su existencia independiente, por su incapacidad para transformarse los unos en los otros, etc, sino también por el peso de sus átomos”.

Sin embargo, Mendeleiev deja abierta la posibilidad de que algún día la teoría atómica sea refutada, o que el modelo de la materia sea modificado:

“No es sólo en la época de Dalton, sino ahora (y lo será en el futuro) que los sabios han buscado conocer el límite de la divisibilidad mecánica de la materia y han buscado la solución en los dominios más diversos de la naturaleza. [...] Así como en matemáticas se divide una curva en una serie de líneas rectas, el átomo permite comprender mejor los fenómenos, pero en sí mismo no es necesario. Lo único necesario y de cierto es la concepción de la individualidad de las diferentes partes de la materia, que constituye los elementos químicos”.

Y comienza a preparar el terreno para lo que más adelante enunciará como su ley periódica:

“Las propiedades químicas y físicas de un cuerpo dependen del peso, de la composición y de las propiedades y del peso de los átomos que forman las moléculas”.

“Estos son los principios de la mecánica molecular sobre los que se fundamentan todas las teorías químicas y físicas contemporáneas después de establecerse la ley de Avogadro – Gerhardt”.

“Se llama peso atómico la cantidad más pequeña de un elemento que entra en la composición de todas las moléculas que puede formar...[...] Es posible conocer los pesos atómicos de todos los elementos conociendo sus pesos moleculares y la composición de sus combinaciones”.

Hay que señalar aquí que en este momento ya se había asignado el valor de 12 al peso del carbono, y no 6, como anteriormente.

Es ya sabido, que a diferencia de sus colegas, que se esmeraban en agrupar los elementos por sus semejanzas, Mendeleiev concentró su atención en los dos grupos que presentaban las mayores diferencias en su comportamiento. Él mismo dice que:

“Los halógenos y los metales son los elementos más opuestos por su carácter químico...”

Así, después de dedicar varios capítulos al estudio de los cuatro elementos que él denomina “organógenos”, - hidrógeno, oxígeno, ázoe (nitrógeno) y carbono -, puesto que entran en la composición de las sustancias orgánicas, en el capítulo X de sus Principios, (correspondiente ya a su segundo tomo), bajo el título de “NaCl, teorías de Berthollet.

HCl”, Mendeleiev comienza a encaminar su discurso hacia su objetivo final, que concreta en el último capítulo, el sistema periódico.

Nuevamente considero que debo aprovechar la oportunidad para transcribir algunos de los párrafos de esta obra, que va mostrando, paso a paso, tanto las observaciones como los razonamientos de su autor.

Refiriéndose a los cuatro elementos organógenos, dice:

“Las diferentes combinaciones que nacen de la unión de estos cuatro elementos entre sí pueden servir de tipo a todos los otros compuestos químicos. Ahí encontramos todas las relaciones atómicas – tipos, formas o estados de combinaciones – según las cuales se combinan los otros elementos entre sí:

Hidrógeno: HH ó en general HR
Agua: H^2O ó en general H^2R
Amoniaco: H^3Az ó en general H^3Az
Gas de pantano: H^4C ó en general H^4R

Si un elemento M se combina con el hidrógeno para formar preferentemente una sustancia gaseosa HM y no forma H^2M , H^3M , H^nM^m , podemos afirmar, basándonos en la ley de las sustituciones que ese elemento dará las combinaciones M^2O , M^3Az , MHO , MH^3C , etc. Así es, por ejemplo, el cloro.

Podemos distinguir los elementos según su analogía con el H , O , Az , C , etc., prever sus propiedades ácidas y alcalinas (por ejemplo), al menos algunas de sus combinaciones – eso constituye la noción de la valencia o de atomicidad. [...] Si bien la noción de valencia permite encontrar fácilmente ciertas analogías, no puede servir de base para estudiar las propiedades de los elementos”.

Teniendo en cuenta que Mendeleiev desconocía en ese momento la estructura interna del átomo, es necesario destacar lo valioso de sus investigaciones y sus aportes al ir infiriendo lo que ocurría a nivel microscópico a través de la manipulación con lo macroscópico.

Como ya he mencionado anteriormente, Mendeleiev va narrándole al lector en cada momento los estudios, experimentos, aciertos y desaciertos de sus antecesores y contemporáneos y sus acuerdos o desacuerdos con ellos. Respecto a Berthollet comenta:

“La teoría de Berthollet reposa sobre la opinión de que la acción de distintas sustancias químicas, las unas sobre las otras, depende no sólo del grado de afinidad de las partes heterogéneas, sino también de la influencia de la masa relativa de las sustancias reaccionantes y de las condiciones físicas en las que se lleva a cabo la reacción.[...] En la época en que Berthollet emitió su teoría, las nociones atómicas

modernas no existían. Ahora hay que subordinarla a los equivalentes, es decir, que Na y K o $\frac{1}{2}$ Ca o $\frac{1}{2}$ Mg pueden ser sustituidos por el hidrógeno”.

Después de un estudio sobre “la sal de cocina ordinaria o cloruro de sodio” (“porque las sales tienen un carácter especial”, dice) continúa en el capítulo XI con los halógenos: cloro, bromo, yodo y flúor, al que representa por Fl.

De todos, el cloro es para Mendeleiev el más representativo de este grupo, y por tanto comienza hablando de uno de los compuestos más conocidos de este elemento, el HCl, ácido clorhídrico, diciendo:

“El ácido clorhídrico, HCl, igual que el agua, siendo un compuesto muy estable, se descompone no sólo por acción de la corriente galvánica en hidrógeno y cloro gaseosos, sino también bajo la influencia del calor”.

A continuación describe extensamente las propiedades y las reacciones del cloro y dice:

“Hasta el oro y el platino que no se combinan directamente con el oxígeno y, por ende, los compuestos oxigenados son inestables, forman cloruros directamente con el cloro”.

Y continúa explicando que el agua regia, “mezcla de una parte de ácido azótico (níttrico) con 2 ó 3 partes de ácido clorhídrico”, forma cloruros con todos los metales, incluyendo el oro y el platino.

Una vez agotado el estudio exhaustivo del cloro, Mendeleiev hace extensivas sus propiedades a los otros miembros del grupo:

“Las propiedades del cloro que acaban de ser estudiadas pertenecen también a tres otros elementos, bromo, yodo y flúor, que son los otros miembros de la familia de los halógenos”.

“Cada representante de esta familia posee sin embargo sus particularidades y sus propiedades individuales, sin las cuales no serían elementos; bajo esta relación el peso atómico tiene una importancia primordial”.

Fl = 19 Cl = 35.5 Br = 80 I = 127

“Todas las propiedades físicas y químicas de los cuerpos simples y de los compuestos correspondientes deben estar evidentemente bajo la dependencia de este factor fundamental, si la agrupación en familias es natural. Vemos que las propiedades del bromo, cuyo peso atómico es aproximadamente igual al promedio de el del yodo y el del cloro, son intermedias entre los de los dos elementos”.

Aquí cita los puntos de fusión y de ebullición del cloruro de sodio, NaCl, el bromuro de sodio, NaBr y el yoduro de sodio, NaI, determinados por Freyer y Meyes en 1892.

Para cerrar el capítulo concluye que:

“Los cuatro elementos de la familia de los halógenos son un ejemplo de sustancias análogas que se disponen de acuerdo a sus propiedades físicas, en el mismo orden donde podrían estar ordenadas por la relación de sus pesos atómicos y moleculares. Los elementos con mayor peso molecular poseen un peso específico, un punto de fusión y de ebullición más elevado y toda una serie de propiedades que dependen de ese factor fundamental. [...] Dividiendo sus pesos atómicos por las densidades en el estado sólido, se obtiene el mismo cociente: “

$$Cl = 35.5/1.3 = 27 \quad Br = 80/3.1 = 26 \quad I = 127/4.9 = 26$$

El capítulo XII está dedicado en sus 45 páginas al sodio, representante de los metales alcalinos. Tras la descripción detallada de sus propiedades y reacciones, Mendeleiev afirma:

“La propiedad química más importante del sodio es seguramente la facultad que posee de descomponer el agua y de liberar hidrógeno de un gran número de compuestos hidrogenados y sobretodo de compuestos ácidos e hidratos que contienen el grupo OH. Esto depende de la propiedad que tiene el sodio de sustituir al hidrógeno, es decir, de unirse a elementos que se combinan con el hidrógeno”.

De manera similar al tratamiento seguido con los halógenos, de estudiar en primer lugar su elemento más representativo, el cloro, y generalizar después sus conclusiones a los otros miembros del grupo, Mendeleiev extiende, en el capítulo XIII las observaciones hechas sobre el sodio a los otros metales alcalinos. Este capítulo denominado “Potasio, rubidio, cesio y litio. Análisis espectroscópico”, comienza precisamente resaltando el comentario que acabo de hacer:

“Acabamos de ver que el cloro, contenido en la sal ordinaria, corresponde a una serie de elementos halógenos, que son: flúor, bromo y yodo. De una manera absolutamente análoga, el sodio, otro elemento igualmente contenido en la sal ordinaria, se asocia a una serie de elementos que se le parecen: Li = 7, K = 39, Rb = 85, Cs = 133. Estos elementos se parecen al sodio como el Fl, Br y I se parecen al Cl. El sodio y sus análogos han recibido el nombre de metales alcalinos.”

A continuación cita las investigaciones de Tulton en 1894 relativas a los sulfatos de los metales alcalinos y luego sigue contando acerca de los estudios espectroscópicos de los metales. Habla en particular de Bunsen y de sus descubrimientos del rubidio y del cesio, dos de los metales alcalinos, y de otros tres metales, talio, indio y galio, mediante este método. Explica además el origen de estos nombres, asociados al color de su línea característica en el espectro.

Acerca de la identificación de los metales por su color a la llama indica que:

“Los fenómenos espectrales son determinados por las moléculas y no por los átomos; son las moléculas de sodio y no sus átomos los que engendran el género de vibraciones que se expresa en el espectro de las sales de ese metal. Donde no hay sodio metálico, su espectro no existe”.

Y sobre la espectroscopia en particular comenta:

“El espectroscopio permite determinar con exactitud la coincidencia de los espectros de los metales y de algunas partes del espectro solar; caracterizadas por rayos negros (es decir, por la ausencia de ciertos rayos con índice de refracción determinado) llamado rayos de Fraunhofer”.

“Las observaciones han demostrado que existe una coincidencia perfecta entre los espectros de los metales y los rayos de Fraunhofer”:

Rayo	A	B	C	D	E	b	F	G	H
<i>l</i>	761.0	687.5	656.6	589.5	527.3	518.7	486.5	431.0	397.2
color		rojo		naranja	amarillo	verde	azul		violeta

Después de un largo análisis de y sobre los espectros, Mendeleiev insiste en la naturaleza inmutable de los elementos químicos afirmando que:

“Es necesario entonces llegar a la conclusión que, en todo el universo, los cuerpos simples son los mismos que en la tierra y que a la temperatura extremadamente elevada que existe en la superficie del sol esos cuerpos, que nosotros consideramos como elementos químicos, no sufren ninguna descomposición o transformación”.

Cada vez más próximo al capítulo cumbre de su obra, Mendeleiev va concretando sus observaciones de similitudes y diferencias entre los elementos que ha ido analizando profundamente a lo largo de todo su trabajo, y escribe:

“Los halógenos y los metales son los elementos más opuestos por su carácter químico, todos los otros elementos son, o bien metales que se parecen hasta cierto punto a los metales alcalinos por su facilidad de formar sales y por la ausencia de compuestos ácidos, pero están muy lejos de ser tan energéticos como los alcalinos, que los desplazan en la mayoría de sus combinaciones. Al combinarse con los halógenos liberan menos calor y sus bases son menos energéticas que las de los metales alcalinos. Estos metales son: Fe, Cu, Ag etc.”

“Existen otros elementos que, por las características de sus compuestos, se parecen a los halógenos: como estos últimos, se combinan con el hidrógeno pero sus compuestos hidrogenados no poseen las propiedades energéticas de los ácidos formados por los halógenos: Se combinan fácilmente con los metales formando compuestos menos salificables que los halógenos. Las propiedades de los halógenos son menos marcadas en ellos: S, P; As, etc.”

“Existe además una serie de elementos como carbono y azoe, en los que ni las propiedades de los metales ni las de los halógenos se encuentran netamente, en esta relación ellos ocupan una situación intermedia entre los dos grupos de elementos mencionados anteriormente”.

*“La diferencia más pronunciada entre los halógenos y los metales se manifiesta en que los primeros forman compuestos con propiedades ácidas, pero nunca de bases, mientras que los metales, al contrario, no dan si no bases. Los primeros son realmente **elementos ácidos** mientras que los segundos son **elementos básicos** o metales. Al combinarse entre ellos, los primeros forman compuestos químicamente inestables, los metales alcalinos producen aleaciones. En las aleaciones el carácter metálico se conserva igual que el carácter de los halógenos se mantiene en el ICl.[...] La combinación del cloro y del sodio, el cloruro de sodio, no tiene ni el aspecto ni las propiedades de los cuerpos de donde proviene. NaCl tiene un punto de fusión superior que el del sodio y el del cloro, es bastante menos volátil que los anteriores, etc.”*

A continuación, Mendeleiev presenta una interesante observación sobre las similitudes estequiométricas de los compuestos de los metales alcalinos y de los halógenos con otros elementos, como por ejemplo, el hidrógeno. (Para nosotros, que conocemos ahora la configuración electrónica característica de ambos grupos, es fácil comprender que tanto los unos como los otros pueden formar compuestos del tipo MH. Los metales alcalinos por la pérdida de su único electrón ns y los halógenos por la ganancia de un electrón para completar su capa de valencia. Pero en aquel momento, cuando aún se desconocía la estructura interna de los átomos, y los gases nobles apenas se estaban descubriendo y constituían en sí mismos un misterio, la explicación de estas coincidencias eran prácticamente imposibles de explicar).

*“A pesar de estas diferencias cualitativas, existe sin embargo entre los halógenos y los metales alcalinos un gran parecido cuantitativo. Estos dos grupos de elementos son efectivamente monovalentes o monoatómicos respecto al hidrógeno, lo cual indica que pueden sustituir al hidrógeno átomo por átomo.[...] El átomo de estos dos grupos se parece al del hidrógeno, considerando que este último se toma como relación de unidad en la comparación con los otros elementos. Por ejemplo: KOH \rightarrow K²O
HClO \rightarrow Cl²O”*

“Sin embargo hay que recordar que los halógenos forman compuestos más oxigenados que el hidrógeno y los alcalinos. Veremos muy pronto que estas propiedades están subordinadas a una ley especial expresando la transición gradual que existe en las propiedades de los elementos, partiendo desde los metales alcalinos hasta los halógenos...”

(Lo que Mendeleiev ignoraba en ese momento era que los elementos de un mismo período están llenando un mismo nivel de energía, y por lo tanto el número de electrones de valencia va aumentando al movernos de izquierda a derecha en la tabla periódica, lo que se

manifiesta con la posibilidad de presentar números de oxidación más altos en los compuestos, o como decía Mendeleiev, con la formación de compuestos más oxigenados.)

El décimo quinto y último capítulo de los *Principios* es la culminación de este recorrido por el cual nos ha llevado Mendeleiev, analizando en detalle todos los elementos más importantes conocidos hasta entonces y sus congéneres. En él Mendeleiev plantea su ley periódica con la cual ha pasado a los anales de la historia de la química como el “padre” de la tabla periódica que manejamos hoy en día. Y esta es otra de sus similitudes con Antoine Laurent Lavoisier. Ambos decidieron escribir sus propios libros de textos, pues, a su modo de ver, no había en su momento ninguno que fuera lo suficientemente adecuado para las necesidades de sus pupilos, y ambos cristalizaron en sus trabajos las investigaciones realizadas por muchos científicos durante largos años, determinando, de alguna manera, el destino de la química. La ley de la conservación de la masa y la ley periódica son, sin lugar a dudas, dos de los pilares fundamentales de esta ciencia.

Tal como he venido haciendo a lo largo de este análisis, me voy a permitir transcribir algunos párrafos de esta parte final de la obra, ya que no quiero privar a los lectores de este trabajo del discurso directo del autor.

Al llegar al capítulo sobre: “Similitud de los elementos y ley periódica”, Mendeleiev nos ha mostrado, con un estilo de maestro excepcional, todo lo que podríamos llamar “la química descriptiva”. En su segundo tomo ha tratado sobre el carbono y los hidrocarburos, sus combinaciones con el oxígeno y el azoe, el cloruro de sodio, denominado sal de cocina ordinaria, el ácido clorhídrico, los halógenos, el sodio, los metales alcalinos y los análisis espectroscópicos, y los equivalentes y las capacidades caloríficas de los metales: magnesio, calcio, estroncio, bario y glucinio (berilio). Por esta razón, el capítulo comienza diciendo que:

“Los ejemplos precedentes nos muestran que la suma de las nociones que poseemos sobre las transformaciones propias de los cuerpos simples es insuficiente para permitirnos apreciar la similitud de los elementos.”

“Es necesario basarse no sólo en las propiedades cualitativas químicas, sino también en los signos cuantitativos susceptibles de ser medidos. Cuando una propiedad puede ser medida, pierde su carácter de incierto y se vuelve un signo cuantitativo.”

*“Las propiedades mesurables de los elementos o de sus compuestos correspondientes son:
El isomorfismo o similitud de las formas cristalinas y la facultad para formar mezclas isomorfas
La relación de volúmenes de compuestos semejantes de los elementos
La composición de sus combinaciones en sales
La relación de los pesos atómicos de sus elementos*

El propio Mendeleiev nos narra que, históricamente, el isomorfismo fue el primer método utilizado para la demostración de las analogías entre las combinaciones de dos elementos. Esta noción fue introducida por Mitscherlich en 1820 con sus estudios sobre el H_3AsO_4 y el H_3PO_4 .

Se dice que los cuerpos son isomorfos cuando conteniendo el mismo número de átomos en sus moléculas, presentan reacciones químicas análogas, con propiedades semejantes y una forma cristalina idéntica o muy parecida. Estas sustancias contienen elementos comunes, por lo que se puede concluir que los elementos diferentes, también presentan una analogía. De hecho, el fósforo y el arsénico, en el caso de los ácidos estudiados por Mitscherlich, se encuentran en el mismo grupo de la tabla periódica, confirmando lo que se acaba de afirmar.

En el caso de los metales alcalinos y los halógenos, los compuestos MX, como por ejemplo NaCl, KCl, KI o RbCl, forman cristales octaédricos o cúbicos. Experimentalmente, si se “siembra” un cristal en una solución de un compuesto de cristalización similar, es posible “hacer crecer” un isomorfo.

Sobre este particular, Mendeleiev explica:

“La forma cristalina es ciertamente la expresión de la disposición relativa de los átomos en las moléculas y de estas últimas en la masa misma de las sustancias. La cristalización está determinada por la distribución de las moléculas siguiendo la dirección de su máxima cohesión, así la distribución cristalina de la materia se encuentra influenciada por la mismas fuerzas que se dan entre las moléculas.[...] Podemos juzgar la composición a partir de la forma. Tal es la idea primera que constituye la base de las investigaciones sobre la relación existente entre la composición y las formas cristalinas”.

A continuación explica los fundamentos de esta ley. Cita los trabajos de Haiiy en 1811, los de Klaproth y Vauquelin, Beudant, Frankenheim, Laurent y varios más.

Y sigue rumbo al planteamiento de las periodicidades observadas indicando que:

“Si X es un elemento monovalente y R otro elemento con el cual se va a combinar, entonces existen ocho tipos de combinaciones posibles:



Por ejemplo: $RX = HCl$, $RX_2 = OH_2$, $RX_3 = AzH_3$, etc.”

“De todos los compuestos oxigenados, los más interesantes bajo todas las relaciones son los óxidos salificables, que son capaces de formar sales, sea en calidad de bases, sea en calidad de ácidos anhídridos. Algunos elementos como el calcio o el magnesio sólo forman un óxido salificable: MgO , correspondiente a MgX_2 , pero la mayoría de los elementos dan varios, por ejemplo: CuX y CuX_2 o Cu_2O y CuO .”

“Los compuestos salificables independientes más o menos estables corresponden a los ocho tipos siguientes: R_2O , R_2O_2 , R_2O_3 , R_2O_4 (RO_2), R_2O_5 , R_2O_6 (RO_3), R_2O_7 , R_2O_8 (RO_4)”.

Por otra parte, aclara que los hidratos ácidos, del tipo $HClO_4$ y sus sales, que contienen un átomo del elemento, no tienen nunca más de cuatro átomos de oxígeno.

Y regresa una vez más a la relación entre el peso atómico y las propiedades, que ya está próximo a concretar en una ley:

“Los elementos tienen por tanto una propiedad exactamente medible: su peso atómico. El peso del átomo expresa la masa relativa del átomo, de las unidades químicas independientes de los elementos.”

“Todas las propiedades de una sustancia dependen justamente de su masa, porque todas son función de las mismas condiciones o de las mismas fuerzas que determinan el peso del cuerpo, o sea que es proporcional a la masa de la sustancia”.

“Es natural entonces buscar una relación entre las propiedades análogas de los elementos por una parte y sus pesos atómicos por otra”.

“Esta es la idea que obliga a disponer todos los elementos de acuerdo al tamaño de sus pesos atómicos.[...] Hecho esto, se remarcan inmediatamente la repetición de las propiedades en los períodos de los elementos. Ya conocemos los ejemplos:

$Fl = 19$	$Cl = 35.5$	$Br = 80$	$I = 127$
$Na = 23$	$K = 39$	$Rb = 85$	$Cs = 133$
$Mg = 24$	$Ca = 49 (?)$	$Sr = 87$	$Ba = 137$

*“ Disponiendo los elementos de acuerdo a su peso atómico creciente se obtiene una repetición periódica de las propiedades. Es lo que enuncia la **ley periódica**: “las propiedades de los cuerpos simples, como las formas y las propiedades de las combinaciones, son una función periódica del tamaño de los pesos atómicos”.*

El 1 de marzo de 1869, 17 de febrero en el antiguo calendario ruso, se hizo público el “Ensayo sobre un sistema de los elementos según sus pesos atómicos y funciones químicas” y el 6 de marzo N. Menchutkin presentó ante la Sociedad Química Rusa el informe de Mendeleiev titulado: “Relación entre las propiedades y los pesos atómicos de los elementos” publicado en el Diario de la Sociedad Química Rusa (1869, año 1º, vol II y III, pp.60 – 77) (Kolodkine, 1963).

Las conclusiones, que fueron publicadas en los *Principios* y conocidas por la Sociedad de los químicos rusos, fueron las siguientes:

1. *Los elementos dispuestos según la magnitud de sus pesos atómicos presentan una periodicidad manifiesta en sus propiedades.*
2. *Los elementos que se parecen en sus funciones químicas presentan unos pesos atómicos próximos (como Pt, Ir, Os) o regular y uniformemente crecientes (como K, Rb, Cs). La uniformidad de este crecimiento en los distintos grupos ha escapado a las observaciones precedentes porque no han utilizado en sus comparaciones las conclusiones de Gerhardt, Regnault, Cannizzaro, etc. que establecieron la verdadera magnitud del peso atómico de los elementos.*
3. *La disposición de los elementos o de sus grupos según la magnitud de los pesos atómicos corresponde a su atomicidad (valencia) y hasta cierto punto, a sus diferencias desde el punto de vista químico, lo que aparece claramente en la serie Li, Be, B, C, N, O, F y aparece también en las otras series.*
4. *Los cuerpos simples más extendidos en la naturaleza tienen un peso atómico débil, y todos los elementos de peso atómico débil se caracterizan por sus propiedades muy definidas. Por esta razón son típicos. El hidrógeno, en tanto que es el elemento más ligero, ha sido elegido, con razón, como el elemento más típico.*
5. *La magnitud del peso atómico determina el carácter del elemento, porque la magnitud de las partículas (la molécula) determina las propiedades de un cuerpo compuesto, y por este hecho, cuando se estudian las combinaciones, hay que prestar atención no sólo a las propiedades y al número de los elementos, sino también a su acción recíproca y al peso de sus átomos. Por eso, por ejemplo, las combinaciones de S y Te, Cl y I, etc. presentan, a pesar de su similitud, diferencias muy acusadas.*
6. *Hay que esperar al descubrimiento de numerosos cuerpos simples desconocidos semejantes, por ejemplo, al aluminio y al silicio, con pesos atómicos comprendidos entre 65 y 75.*
7. *La magnitud del peso atómico de un elemento puede corregirse a veces si se conocen sus analogías. Así el del telurio debe ser no 128 sino entre 123 y 126.*
8. *Ciertas analogías de los elementos aparecen comparando el peso de sus átomos. Así, el uranio aparece como análogo al boro y al aluminio, lo cual justifica la comparación de sus compuestos.*

Como he mencionado en alguna ocasión, Mendeleiev reconoce en su texto la importancia de los trabajos de otros científicos, añadiendo de paso un valor ético a su ya valiosa obra. En particular, en lo que respecta a la ley periódica, Mendeleiev hace un reconocimiento

explícito tanto a sus antecesores en este tema, como Dumas, Gladston, Pettenkofer, Kremers y Levosens, como a quienes los han aplicado y promovido como Roscoe, Lecoq de Boisbaudran, Nilson, Winckler, Brauner, Carnelly y Torpe, añadiendo *que “una ley general no se establece enunciándola, sino a través de la experiencia”*.

A continuación presenta su tabla periódica, que como él mismo aclara, está dispuesta conformando los ocho tipos de óxidos ya mencionados.

Una vez presentado su modelo de organización de los elementos químicos, Mendeleiev explica que existen en el momento otras propuestas de representación de una ley periódica, y a cada una dedica unas cuantas líneas. Estos otros modelos, en resumen, son:

1. Un sistema cartesiano de volumen específico o temperatura de fusión vs. Peso atómico.
2. Una espiral, como la propuesta por Chancourtois, Baumgnauer, Huth y otros.
3. Un sistema cartesiano de pesos atómicos vs. Valencias.
4. Superficies de rotación propuestas por Rautseff.
5. Funciones del tipo $A = 15n - 15(0.9375)^t$ En donde A es el peso atómico y n y t varían para elemento, propuesta por Mills en 1886.
6. funciones trigonométricas propuestas por Ridberg en 1885 y por Flavitsky en 1887.
7. El modelo de Tchitchérie según el cual $V_{\text{atómico}} = A(2 - 0.0428 A.n)$, donde A es el peso atómico y n varía con el elemento.

Algo más que me atrae de Mendeleiev es su transparencia al reconocer sus propias limitaciones para poder explicar el por qué de su ley.

Desconociendo la configuración interna de los átomos, aunque presintiéndola, Mendeleiev sabe que existen razones intrínsecas a la materia que son la causa de los hechos que él ha observado, pero que se le escapan en ese momento, y al respecto escribe:

“La ley periódica expresa las propiedades de los elementos, no de los cuerpos simples. Las propiedades de los cuerpos simples y compuestos dependen de una forma periódica de los pesos atómicos de los

elementos por la sola razón que estas propiedades son en sí mismas el resultado de las propiedades de los elementos de donde vienen esos cuerpos”.

Y entonces, añade:

“Así como sin conocer la causa de la gravitación podemos utilizar la ley que la rige, igual en química podemos hacer servir las leyes descubiertas sin tener la explicación de su causa.[...] Todo parece indicar que todavía no es tiempo para tener una explicación.[...] Esta interpretación no será posible hasta que las leyes fundamentales de las ciencias naturales sean explicadas completamente.[...] La variación periódica de los cuerpos simples y compuestos está subordinada a una ley en la naturaleza, pero, por lo menos su causa no puede aclararse actualmente. Es probable que ella resida en los principios fundamentales de la mecánica interna de los átomos y las moléculas”.

Esta limitación de ignorar el por qué del comportamiento de las sustancias simples y compuestas no es, sin embargo, obstáculo alguno para que Mendeleiev continúe poniendo de manifiesto todo lo que ya **sí** sabe acerca de ellas, y por tanto agrega:

“A propósito del sistema periódico de los elementos es importante conocer lo siguiente:

- 1. La composición de las combinaciones oxigenadas superiores está determinada por el grupo: hay ocho formas de óxidos porque hay ocho grupos.[...] Los que dan bases, como los metales alcalinos están al principio y los que son ácidos, como los halógenos, están al final del período. En el medio están los elementos con carácter intermedio. El carácter ácido es mayor para el más liviano, mientras que el básico es mayor para el más pesado. En resumen, el carácter básico y ácido de los óxidos superiores está determinado por: a) la forma del óxido b) por la serie par o impar donde está el elemento c) el peso de su átomo. (Los grupos se denotan con números romanos del I al VIII)*
- 2. Las combinaciones hidrogenadas son sustancias volátiles o gaseosas, presentan reacciones análogas a las del HCl, H₂O, H₃Az y H₄C. Se forman únicamente con los elementos de las series impares y los grupos superiores forman los óxidos R₂O_n, RO₃, R₂O₅ y RO₂.*
- 3. Un elemento que forma una combinación hidrogenada del tipo RX_n da una combinación organometálica con la misma composición, en la que X = C_nH_{2n+1}. Los elementos de series impares no forman compuestos hidrogenados, pero dan óxidos RX, RX₂, RX₃ capaces de formar también combinaciones organometálicas correspondientes a esta composición. Por ejemplo: ZnO, ZnX₂ y Zn(C₂H₅)₂. Los elementos de series parece que no dan combinaciones organometálicas.*
- 4. Los pesos atómicos de elementos separados por un período grande difieren en sus pesos en más o menos 45, por ejemplo: K y Rb, Cr y Mo, Br y I. Los elementos típicos tienen pesos atómicos menores a esa diferencia. La diferencia entre litio y sodio es de 16, igual entre cobre y magnesio y magnesio y glucinio, y aún entre silicio y carbono, azufre y oxígeno y doro y flúor. A medida que los pesos atómicos aumentan, la diferencia entre los elementos de un grupo separado dos series de su vecino es generalmente más grande. Las propiedades similares varían de igual manera, es decir, menor diferencia de pesos atómicos, menor diferencias en sus propiedades.*
- 5. Cada elemento ocupa en el sistema periódico un sitio determinado por el grupo (número romano) y por la serie (número arábigo) que lo caracteriza (peso atómico, analogías, forma de su óxido, de su compuesto hidrogenado y de otras combinaciones). (De esta manera, Mendeleiev pudo predecir la existencia de algunos elementos.)*

6. *Si una ley natural no tiene excepciones, la relación periódica entre las propiedades y los pesos atómicos de los elementos debe crear un nuevo medio de determinar, a partir del equivalente, el peso atómico o la valencia de algunos elementos ya conocidos pero poco estudiados. (Y a continuación comenta sobre elementos descubiertos o más estudiados después de la publicación de la ley periódica.)*
7. *La variación periódica de las propiedades de los elementos dependiente de la masa presenta ciertas diferencias con otras funciones periódicas y es que los pesos de los átomos no crecen de una manera continua sino a saltos. Lo que permite saber si hay o no otro elemento entre dos es la ley de las proporciones múltiples.*
8. *La causa de los fenómenos que obedecen la ley periódica entra dentro del principio general físico-mecánico de la correlación, de la transformación y de la equivalencia de las fuerzas de la naturaleza. Un gran número de fenómenos, como la gravitación y la atracción que se ejerce a pequeñas distancias, dependen de la masa, ¿por qué sería diferente para las fuerzas químicas? Esta dependencia existe porque las propiedades de los cuerpos simples y compuestos están determinadas por las masas de los átomos que los forman”.*

“Las propiedades de los átomos son determinadas principalmente por su masa, su peso y se encuentran en una dependencia periódica de ese factor.[...] A medida que la masa crece, las propiedades varían gradual y regularmente hasta volver a las propiedades primitivas y comenzar un nuevo período similar al anterior”.

“Habrá que estudiar nuevas propiedades a la luz de esta periodicidad...”

Finalmente, Mendeleiev cierra su libro concluyendo que:

“Todo esto muestra que la ley periódica no se aplica sólo a relaciones mutuas de los elementos y que no sólo muestra sus similitudes sino que además da una cierta cohesión a la teoría de los tipos de combinaciones formadas por los elementos, que deja ver una regularidad en la variación de todas las propiedades químicas y físicas de los cuerpos simples y compuestos y prever las propiedades aún no estudiadas experimentalmente en los cuerpos simples y compuestos”.

“La ley periódica prepara, en una palabra, el terreno para la edificación de la mecánica atómica y molecular”.

Efectivamente, eso fue lo que pasó. En 1905, Mendeleiev vaticinaría: *“Según todas las apariencias, el porvenir no amenaza con destruir la ley periódica, tan sólo promete añadir superestructuras y desarrollos..”* (Kolodkine, 1963)

Sin lugar a dudas, Mendeleiev era todo un maestro. Leer su libro es como conversar con él. Es como si él se trasportase en el tiempo y se hiciera presente a través de sus líneas, para explicar hasta la total satisfacción cada uno de los conceptos, principios o leyes que aparecen en su texto. No escatima esfuerzos, ni dibujo, ni se le escapa el más mínimo detalle para que el lector-alumno aprenda.

Según las palabras de Kolodkine (1963):

“...desde 1913, seis años después de la muerte de Mendeleiev, la ley periódica ha sido explicada y confirmada de una manera ejemplar por la propia estructura del átomo. [...] La ley periódica puede enunciarse así: las propiedades físicas y químicas de los elementos y de sus combinaciones están ligadas por una dependencia periódica a la carga del núcleo atómico, que es, numéricamente igual al número atómico del elemento”.

Sin embargo, todavía hoy, más de un siglo después, sigue habiendo confusión acerca de muchos de los conceptos discutidos por Mendeleiev. Los estudiantes utilizan indiscriminadamente material, producto o sustancia, y mezcla o compuesto como sinónimos (Domínguez y Furió, 2001), y los libros de textos asimilan el término sustancia simple al de elemento (Roundy, 1989; Bullejos et al, 1995; Thibault et al., 1994), y aunque en su momento se aclare que lo que define un elemento es su número atómico, en su gran mayoría, tanto los textos como los profesores de química, seguimos definiendo elemento, en primera instancia, como aquella sustancia que no puede descomponerse en otras más sencillas por métodos químicos.

A los cuerpos homogéneos hoy los llamamos sustancias, y muchos textos, como ya se ha dicho, los denominan sustancias puras. Los cuerpos homogéneos compuestos los denominan simplemente, compuestos, y los cuerpos homogéneos simples, constituidos por una sola clase de átomos, elementos. Con lo cual elemento es por una parte sinónimo de sustancia, y por otra, de átomo.

Por otra parte, es interesante contrastar la afirmación de Mendeleiev acerca de lo que la noción de valencia permitía prever o no, con lo que hoy en día conocemos. Al saber ahora que lo que determina la periodicidad de muchas de las propiedades de los elementos es finalmente la distribución de los electrones de la capa de valencia, no sólo podemos predecir cuáles serán los números de oxidación (valencia) más probable para cada elemento, sino que podemos predecir muchas de sus propiedades atómicas, tales como energía de ionización o afinidad electrónica, y podemos comparar radios iónicos y electronegatividades dependiendo de la carga de los iones. Pero nada de esto conocía Mendeleiev al escribir su texto. De ahí, una vez más, el reconocimiento al mérito de su ley.

Siguiendo paso a paso la lógica que llevó a Menedeleiv al establecimiento de su ley periódica, y teniendo en cuenta el trabajo de otros que habían buscado la manera de sistematizar el comportamiento de los elementos químicos, podemos observar cómo, ante el desconocimiento de lo que sucedía al interior de los átomos, la investigación se daba de “afuera hacia adentro”, de lo macro a lo micro, de lo comprobable a través de los sentidos o de los instrumentos de laboratorio, hacia lo imperceptible en ese momento. Como predecía Mendeleiev: *“Es probable que ella (la variación periódica de los cuerpos simples) resida en los principios fundamentales de la mecánica interna de los átomos y las moléculas”*. Era a través de las propiedades de las sustancias tangibles como se buscaba inferir las propiedades de lo microscópico, de los átomos, que causaban tales comportamientos. Así, un proceso de abducción permite el establecimiento de un modelo.

A partir del descubrimiento de la estructura del átomo, este proceso se invirtió. Es decir, conociendo entonces el origen de la periodicidad, la configuración electrónica, se comenzó un estudio de “adentro hacia fuera”, modelizando de lo micro a lo macro. Ya no es necesario “imaginar” qué sucede, sino que ahora se puede explicar por qué las sustancias, simples o compuestas, se comportan de la manera como lo hacen.

Así, podemos encontrar análisis completos de la tabla periódica y de la variación de las propiedades atómicas y de las sustancias basados en el modelo mecánico cuántico del átomo. Un ejemplo de este tipo de texto es *The periodic Table of the elements*. Como ya se explicó en la metodología y se comentó al comienzo de este capítulo, este libro ofrece una alternativa de acceso a la enseñanza de la tabla periódica completamente diferente al que acabamos de analizar.

1.2. Revisión del libro *The Periodic Table of the Elements* de R.J. Puddephatt y P.K. Monaghan, Oxford Science Publications, 2ª edición, Oxford, (1990)

“Según numerosos sabios contemporáneos (Crookes, J.Thomson, lord Kelvin, etc., sobre todo ingleses) los átomos de los cuerpos simples se dividen, en determinadas condiciones, en partículas elementales

(electrones, materia radiante, protilo, etc.) lo que indicaría claramente, según los modernos, que los átomos son divisibles. Pero aquí nos encontramos claramente en el punto extremo de los conocimientos actuales y por eso estimo deber aconsejar a los principiantes que no se adentren en este terreno, pues hay muchas posibilidades, pero ninguna seguridad” Dimitri Mendeleiev citado por Kolodkine (1963).

Efectivamente, ya sabemos que los átomos sí son divisibles y que muchas de las propiedades que Mendeleiev observó en las sustancias, tanto simples como compuestas, se deben a la configuración interna de los átomos que apenas se estaba descubriendo a la muerte de Mendeleiev.

En su breve introducción de tres páginas, el libro *The periodic Table of the elements* comienza diciendo que para lograr la comprensión de algo tan complejo como la química sería deseable poder encajar todos los hechos observados dentro de un patrón simple y lógico, y que la tabla periódica, a pesar de no ser ideal, ha servido para sistematizar las propiedades de los elementos y de sus compuestos por más de un siglo. *“Este libro explora las bases de la periodicidad observada en las propiedades de los elementos y sus compuestos, y describe muchos ejemplos para ilustrar estas tendencias periódicas”,* añade.

En tres párrafos resume la historia de la tabla periódica mencionando a Cannizaro, Newlands y Mendeleiev. En particular señala las predicciones de Mendeleiev sobre los elementos faltantes, y su éxito cuando éstos fueron descubiertos tal y como él lo había previsto. Sin embargo, inmediatamente aclara que: *“Sólo cuando se estableció la estructura electrónica de los átomos pudo reconocerse el significado total de la tabla periódica”*.

Como broche de la corta introducción de este libro de marcado y explícito dominio de la química inorgánica, los autores afirman:

*“...la gran expansión de conocimiento acerca de los elementos y sus compuestos sólo pueden comprenderse en términos de la tabla periódica; ya no es posible, ni siquiera deseable, aprender propiedades de cada elemento o compuesto aislado. Debido a que las amplias tendencias en el comportamiento químico pueden ser fácilmente racionalizadas usando la tabla periódica, la química inorgánica ya no tiene que ser mirada como un mero catálogo de hechos.[...] **concentrándose en las comparaciones y las tendencias de las propiedades químicas de los elementos en términos de su posición en la tabla periódica, el estudio de la química inorgánica puede ser algo fascinante y estimulante**”* (el resaltado es mío, que opino como ellos).

El capítulo 2, titulado Estructura atómica, empieza enunciando que la clasificación periódica moderna depende de la estructura atómica y en particular de la manera en la que están organizados los niveles de energía de los electrones. Hace una presentación de la teoría de Bohr para el átomo de hidrógeno, para explicar los números cuánticos, y después trata la ecuación de Schrödinger, para obtener los orbitales atómicos.

El tercer capítulo tiene el encabezado de “Construyendo la tabla periódica”. En él hacen referencia a la carga nuclear efectiva, sin hacer cálculos numéricos, al apantallamiento y al poder de penetración de los orbitales para explicar su orden de llenado.

Dentro de este capítulo aparece un apartado bajo el subtítulo de “La tabla periódica” donde afirman que:

“Ahora hemos establecido el principio por el cual se construye la tabla periódica. Cada nuevo elemento en la tabla contiene una carga nuclear más que el elemento precedente: esta carga es neutralizada por la adición de un electrón que entra al orbital de menor energía disponible, teniendo en cuenta el principio de exclusión de Pauli. Los elementos pueden entonces ser clasificados naturalmente en períodos dependiendo de cual capa electrónica se está llenando. Cada período comienza con la ocupación de un orbital ns y termina cuando los orbitales np están llenos”.

A continuación explican, apoyados en una gráfica de la tabla periódica, la formación de los períodos cortos y de los largos. Acerca de los grupos aclaran que existen distintas denominaciones, por ejemplo, en Gran Bretaña los primeros ocho grupos se designan con la letra A y con B los ocho últimos, mientras que en Norteamérica la letra A identifica el bloque principal y la B los metales de transición (Fernelius y Powell, 1982), adicionalmente colocan la numeración arábiga del 1 al 18 según las reglas de la IUPAC (Loening, 1984). Por último comentan que la tabla también puede separarse en bloques de acuerdo con los orbitales en los que se encuentren los últimos electrones, lo que da como resultado la clasificación en elementos del bloque s, bloque p, bloque d y bloque f.

El capítulo 4 está dedicado a la “Periodicidad y las propiedades atómicas y de enlace de los elementos del bloque principal”. En él definen y analizan, con gráficas incluidas, y de manera muy clara la variación a lo largo de períodos y grupos de:

- Energía de ionización

- Afinidad electrónica
- Enlace químico:
 - Enlace iónico
 - Enlace covalente
- Radio covalente
- Radio iónico
- Electronegatividad
- Poder polarizante y polarizabilidad
- Número de coordinación y estado de oxidación

En este capítulo hay varias cosas que llaman mi atención. En primer lugar el orden en que analizan los items citados anteriormente, ya que en la mayoría de los textos de química general y en particular en los de química inorgánica se suele presentar el radio antes que la energía de ionización. De igual manera, la presentación del enlace antes que otras propiedades como electronegatividad y polarizabilidad, e incluso antes que el estudio del radio, es una secuencia poco común.

En segundo lugar, siendo un libro que presenta un buen nivel de profundidad, no hace ningún tratamiento matemático, ni el más elemental, sobre la carga nuclear efectiva, que a mi modo de ver, sustenta el comportamiento de las demás propiedades atómicas (Waldron et al., 2001), a pesar de que para explicar las “anormalidades” en la variación de la energía de ionización hace uso de la estrecha relación entre la carga nuclear efectiva, el apantallamiento de los electrones interiores y la facilidad o dificultad para perder un electrón.

En tercer lugar, a pesar de ser un libro relativamente nuevo (1990), sigue utilizando la antigua convención de considerar positiva una alta afinidad electrónica, cuando de acuerdo con las convenciones termodinámicas, las energías liberadas se representan con valores negativos.

En el capítulo 5 se hace el estudio de la “Periodicidad y las propiedades físicas y estructurales de los elementos del bloque principal”, para lo cual se basan en las magnitudes de las fuerzas interatómicas, definidas como las energías requeridas para romper todas las fuerzas dentro del elemento, en su estado natural, para formar átomos gaseosos libres. En general, la reactividad es inversamente proporcional a las fuerzas interatómicas, excepto en los gases nobles, que a pesar de ser monoatómicos en su estado natural, son muy poco reactivos gracias a su configuración de capas llenas.

Con este precedente, analizan los grupos I y II, metales típicos, luego los grupos III y IV, aludiendo a las distintas formas alotrópicas de algunos de sus miembros y a su reactividad relativa, a continuación los grupos V y VI y finalmente el grupo VII y el grupo O, o gases nobles, para terminar clasificando todos los elementos del bloque principal en metales, metaloides o no metales. Colateralmente van comparando las propiedades de los elementos del bloque principal con sus análogos de los metales de transición, particularmente en cuanto a su reactividad.

El capítulo 6 se refiere a la periodicidad y los compuestos químicos en el bloque principal. De acuerdo a lo mencionado en la introducción, el libro efectivamente va presentando las tendencias observadas a lo largo y ancho de la tabla periódica, en vez de tratar ejemplos aislados.

Dentro de esta generalización, los primeros compuestos estudiados son los haluros de los elementos del bloque principal, puesto que como dicen los autores: *“ya que estos compuestos ilustran muy bien los principios de la combinación química”*.

De manera sencilla y clara, presentando gráficas, diagramas y estructuras moleculares, van haciendo un recorrido de las características principales de los distintos tipos de haluros, iónicos o covalentes, a lo largo de la tabla periódica.

En seguida hacen una revisión de los compuestos con hidrógeno, de los derivados metálicos, de la formación de cadenas, de los óxidos y de los sulfuros.

Para terminar el capítulo mencionan la “relación diagonal” y las anomalías en el comportamiento de los elementos del segundo período con respecto a sus congéneres más pesados.

El capítulo 7 se dedica a la periodicidad y los compuestos de los elementos de transición, cuyas características, debido a la participación de los orbitales d, son algo diferente de los del bloque principal. En 20 páginas los autores ofrecen un panorama general de los aspectos más importantes de los elementos del bloque d.

En las seis páginas del octavo capítulo titulado “Periodicidad y compuestos de lantánidos y actínidos” hacen una rápida revisión de los elementos del bloque f, con lo cual completan el análisis de todos los elementos de la tabla periódica.

Tal como lo mencioné anteriormente, este texto es un claro ejemplo entonces de lo que he denominado un análisis de “adentro hacia fuera”, en el cual se comienza con el planteamiento cuántico mecánico, luego se estudian las propiedades del átomo y posteriormente, las de las sustancias.

Comparando el texto *Principios de Química* de Dimitri Mendeleiev con *The Periodic table of the elements* de R.J. Puddephatt y P.K. Monaghan, podemos encontrar dos caminos para abordar el estudio de la tabla periódica, que se conservan en los textos universitarios de Química General.

Al primero, que parte de las propiedades observadas en las sustancias para llegar a la periodicidad, lo denominaremos Camino Sustancialista (CS), al segundo, que parte de la estructura atómica para explicar la configuración de la tabla y la variación de las propiedades de los elementos, lo llamaremos Camino Cuantomecánico Atomicista (CCA).

Es importante resaltar aquí que, desde el descubrimiento de las partículas subatómicas, todos los textos de química aclaran que aunque Mendeleiev haya establecido la ley periódica con base en el peso atómico de los elementos, esta periodicidad es función realmente del número atómico, o sea del número de protones en el núcleo, que es igual al número del

electrones del átomo. Por lo tanto, independientemente del modelo con el que se acceda al estudio de la tabla periódica, tarde o temprano se llega a la causa original de las características propias de cada elemento, tanto a nivel micro (átomo) como a nivel macro (sustancias): su configuración electrónica.

Sin embargo, también hay que señalar aquí que la incorporación de las nuevas teorías y el estudio de las propiedades atómicas en los libros de texto universitarios no fue inmediato, sino que tuvo lugar, poco a poco, tiempo después que su descubrimiento (Bouma, 1989).

A modo de ejemplo transcribo algunos apartes de textos publicados después del establecimiento de la ley periódica o de las teorías atómicas en modernas.

1.3. Comentarios sobre los libros publicados entre 1884 y 1967

El presente apartado, como ya hemos indicado anteriormente, pretende dar una idea de cómo se fueron incorporando, poco a poco, los nuevos desarrollos relacionados con la tabla periódica en los libros de texto universitarios.

1.3.1. 1884: *Compendio de las lecciones de Química General explicadas en la Universidad de Barcelona*” del Doctor Don José Ramón de Luanco

En la segunda edición del *Compendio de las lecciones de Química General explicadas en la Universidad de Barcelona*, utilizado como texto guía en varias universidades y escuelas superiores, del Doctor Don José Ramón de Luanco, publicado en Barcelona en 1884, el autor se declara “*fiel a la teoría atómica*” y a la “*doctrina unitaria*”.

Este libro de corte apodíctico (Izquierdo, 2002), ya que presenta la ciencia como una verdad absoluta que no da espacio a discusión, aclara en su prólogo:

“...me veo precisado a cambiar algún tanto la distribución o clasificación de los elementos, por haberse descubierto en algunos nuevos rasgos de semejanzas antes desconocidos, que los separa de la familia a que pertenecían”.

Más adelante continúa diciendo:

“...los químicos, con muy contadas excepciones, aceptan la existencia de ciertos principios o elementos, que ya solos, ya unidos en números de 2, 3, 4 o a veces más, en virtud de una de las fuerzas atractivas de la naturaleza, originan todos los seres que vemos y tocamos de continuo”.

Inmediatamente pasa a definir lo que es un elemento: *“Elementos o cuerpos simples, aquellos que después de sometidos a las distintas operaciones que el químico ejecuta hoy, se ve que no contienen más que una sola especie de materia”.* Llama la atención que el autor muy prevenidamente especifica explícitamente que habla de hoy, dejando abierta la posibilidad que las definiciones y conceptos químicos puedan cambiar ante nuevos descubrimientos.

A continuación nombra los 72 elementos conocidos en ese momento explicando que sus nombres: *“derivan unos de la mitología, expresando otros la propiedad más notable de los cuerpos que con ellos se designan y conservando algunos el que tienen desde tiempo inmemorial”.*

Define, por otra parte, la dinamicidad o cuantivalencia de los elementos.

“Los átomos de los cuerpos simples tienen diverso poder de combinación para formar compuestos[...] esta cuantivalencia del átomo de cada elemento es lo que otros llaman dinamicidad, y mucho químicos dicen su atomicidad sirviendo de medida la del hidrógeno o la del cloro, puesto que son iguales”.

En la lección VI, pues tal como lo indica el título de la obra, en ella no hay capítulos sino lecciones, define la Química como:

“...una ciencia que tiene por objeto el estudio de los cuerpos simples, de los compuestos que de su combinación resultan, de las fuerzas que determinan esta combinación y de las leyes que las rigen”. “La palabra Química, en griego, arte o ciencia que tiene por objeto la fusión y disolución de los cuerpos, se deriva del verbo queo, que da origen a nombres verbales y significa fundir, liquidar, disolver...”.

Referente a la clasificación, el autor manifiesta que:

“...otros conceden preferencia a las analogías y reúnen cuerpos simples en grupos o familias, atendiendo a ciertos caracteres comunes, que son los rasgos de semejanza de los cuerpos así agrupados. Nosotros nos inclinaremos al método expositivo de los segundos, reuniremos los cuerpos simples en familias, atendiendo para ello a su dinamicidad, que es la propiedad química fundamental en la teoría moderna. No obstante, conservaremos la división de los cuerpos simples en metaloides y metales, aunque estamos convencidos de la ventaja que resultaría de prescindir de ella, el día en que la colaboración en serie de todas las combinaciones nos lleve por una gradación insensible de los cuerpos electro negativos o ácidos a los electropositivos o básicos.[...] incluiremos en el primero a los metaloides y en el segundo a los metales”.

Después de describir unos y otros, agrupa los cuerpos simples metaloides de acuerdo a su dinamicidad así:

Elementos monodínamos: H, Cl, Br, I y F (a los cuatro últimos los llama halógenos simples)

Elementos didínamos: O, S y Se (anfígenos) y Te

Elementos tridínamos: N, P, As, Sb, Bi, B

Elementos tetradínamos: Si, C, Sn

Se observa, pues, que quince años después de enunciada la ley periódica, ésta todavía no aparece en los cursos universitarios y se siguen presentando sistemas alternativos de clasificación de los elementos, y la antigua definición de elemento como cuerpo simple, como puede inferirse del texto de Luanco que claramente manifiesta en su título que corresponde a las lecciones ofrecidas en la Universidad de Barcelona.

1.3.2. 1909: *Conferencias de Química Moderna* del Padre Eduardo Vitoria, S.J.

En las *Conferencias de Química Moderna* editadas en Tortosa en 1909, 40 años después de que Mendeleiev hiciera pública su ley natural, el sacerdote jesuita Eduardo Vitoria, dedica su último capítulo a “La clasificación de los elementos”.

En una frase el autor resume la importancia de la interrelación entre las propiedades de las sustancias simples y sus compuestos para explicar la periodicidad, veamos:

“Pero la clasificación se ha hecho también necesaria aun al tratarse de los elementos, a pesar de ser éstos relativamente pocos, ya porque algunos de ellos presentan propiedades muy semejantes, que espontáneamente piden que se les incluyan en la misma familia, ya porque su ordenación en grupos facilita la clasificación y estudio de sus derivados y recíprocamente, las cualidades de éstos ayudan al conocimiento de aquellos”.

Seguidamente presenta una serie de clasificaciones propuestas a lo largo de la historia para los elementos químicos: la de Thenard, la de Berzelius, la de Dumas, la de Fermi, la de Naquet y la de Moissan. Menciona también a Béguyer de Chancourtois, a John Newlands, a

Lothar Meyer y, finalmente a Dimitri Mendeleiev de quien dice (Sandford, 1911, Bensaude-Vincent y Stengers, 1997, Scerri, 1998):

*“...su ley periódica de los elementos, que tan vastos horizontes abrió a los estudios químicos, que prenunció con expectación universal y vio comprobado con los hechos, el descubrimiento de cuerpos nuevos de pesos atómicos y propiedades determinadas, y que ha venido a ser clásica en la ciencia, desde esta brillante confirmación, hasta el punto de que el profesor Thomson de Cambridge, hace poco condecorado con el Premio Nobel, **hace concordar su nueva teoría electrónica de la materia con el sistema periódico del sabio ruso**”.*

Es importante observar la anotación que hace el autor acerca de la importancia de la tabla periódica de Mendeleiev en los trabajos de Thomson sobre la estructura atómica.

Teniendo en cuenta que al momento de escribir sus conferencias aún no se conocían los descubrimientos de Moseley sobre los números atómicos, el Padre Vitoria afirma:

“... la ley periódica se apoya sobre el valor del peso atómico porque este dato es el más exacto, el más constante y a la vez, el más interesante que puede buscarse entre las propiedades del individuo químico por excelencia”.

Y luego define peso atómico como *“la cantidad ponderal mínima de un elemento, que puede entrar en los compuestos”.*

Acerca de las ideas que se estaban discutiendo a principios del siglo XX comenta:

“Las ideas modernas sobre la composición electrónica de la materia hacen al átomo químico un agregado de electrones en número considerable. Sea de lo que fuere, lo cierto es que cada átomo químico se presenta con ciertos caracteres específicos propios, y en particular, siempre fijo, a la vez que distinto del de los demás. No es, pues, extraño que se pensara en tomar este dato natural (el peso atómico) y notabilísimo como regla para ordenar los elementos químicos: Pero hay que convenir en que esta base no pudo utilizarse para dicho fin, sino después de establecidas otras clasificaciones.”

Más adelante, agrega:

“El átomo es el único individuo que se nos presenta como una entidad inmutable: la molécula no, como lo comprueban los innumerables compuestos que de aquellos resultan, los cuerpos isómeros y los alótropos. Y aunque el átomo sea una cosa cuya existencia parece más bien ideal y abstracta que real y física, se la halla, sin embargo, tan conforme con los hechos observados, que ha sabido ganarse la voluntad de todos los experimentados”.

Además de su propia definición de átomo, el autor cita lo que algunos científicos de renombre manifiestan acerca de la minúscula partícula, como por ejemplo, Van't Hoff:

“El átomo químico, esa porción pequeñísima de sustancia, completa en sí, esencialmente diferente de todas las demás, con sus caracteres específicos propios, indivisibles al menos por los métodos químicos, de peso fijo y distinto para cada elemento, explica perfectamente el por qué de todas las leyes que rigen las combinaciones químicas: la constancia en el peso total antes y después de la reacción, la cantidad ponderal determinada de cada elemento en un compuesto...”

y Laplace:

“La curva que un átomo simple describe es tan fijamente determinada, como el camino de un planeta, ya que entre ambos no hay otra diferencia que la que nuestra ignorancia introduce”.

Este nuevo átomo de principios de siglo, el Ma como lo denomina Izquierdo (2003a), cambiará la mecánica del microcosmos y comenzará a desplazar al Md(Izquierdo, 2003a) de los libros de texto a lo largo del siglo XX.

El autor distingue entre átomo y elemento y explícitamente explica que el carbono-átomo es el que está presente en la glucosa, los alcoholes, la madera, etc. y no el carbono – elemento, ya que éste es *“una molécula poliatómica”*.

Por otra parte, al referirse a la valencia como la capacidad de combinación que cada átomo tiene con otro tomado como unidad, el autor pone de manifiesto las limitaciones que se tienen todavía para acabar de explicar el origen de la periodicidad, y escribe: *“Se desconoce hoy cuál es la causa de las valencias, aunque esto no impide que, constándonos por hechos indudables, la tomemos como base para la clasificación de los elementos”*.

El resto del capítulo está dedicado a comentar sobre los distintos sistemas organizadores que fueron surgiendo después del de Mendeleiev.

1.3.3. 1931: *Systematic Inorganic Chemistry* de R.M. Caven y G.D.

Lander

En 1931 aparece en Londres y en Glasgow la sexta edición del libro *Systematic Inorganic Chemistry* de R.M. Caven y G.D. Lander. Tal como su nombre lo indica, se trata de un texto de Química Inorgánica basado en el sistema periódico, que comienza con un listado de los 92 elementos conocidos hasta 1930, seguido por un capítulo dedicado a las teorías atómica y molecular, y en seguida, el capítulo de clasificación y tabla periódica. El capítulo cuarto está dedicado a la explicación de los procesos de oxidación – reducción. El resto del libro se dedica a la química descriptiva, por grupos de la tabla periódica, y a algunos compuestos típicos como óxidos, hidróxidos y compuestos similares.

Como no pude tener acceso a las otras ediciones, solamente quiero hacer notar aquí algunos comentarios de los autores para seguir un poco el hilo cronológico de la incorporación de los descubrimientos científicos en los libros de texto universitarios.

Así, en el capítulo I encontramos:

“La teoría atómica, deducida experimentalmente, sirve como base a la química moderna, y es por tanto una doctrina fundamental, segunda solo en importancia a la de la conservación de la masa”.

Treinta años después de los experimentos de los esposos Curie, los autores manifiestan que: *“La degradación de sustancias radiactivas se consideran por fuera de los límites del cambio químico”.*

Similarmente, respecto a los electrones, descubiertos a fines del siglo XIX, aseveran:

“...se concluye que la electricidad es atómica, como la materia. La unidad o átomo de electricidad se llama electrón; y sabemos que los electrones se producen por desintegración de sustancias radiactivas y son un constituyente de la materia. Ramsay (Chem.Soc.Trans. (1908), 93, 778) fue el primero en sugerir que los electrones son las unidades que constituyen la valencia.”

Luego aclaran que en esos momentos las teorías acerca de la estructura están cambiando y por tanto, la doctrina de la valencia también se está modificando.

En el capítulo II, que como ya he anotado, trata la tabla periódica, afirman que:

“La aparición y desarrollo de la ley periódica como un instrumento para el estudio sistemático de los elementos reúne todos los requisitos de inducción – verificación y deducción”.

Y después casi 20 años de los trabajos de Moseley, exponen que la ley periódica debe reajustarse a los nuevos conocimientos sobre los átomos y que la propiedad fundamental de un átomo no es su peso atómico, sino su número atómico y que, por tanto, la ley periódica se asegura mejor sobre esta base.

En este libro solamente se estudian propiedades de las sustancias, como su densidad, punto de fusión, maleabilidad, etc. y comportamientos químicos como propiedades ácido – base o poder de desplazamientos mutuos. La única propiedad atómica que se menciona es el volumen atómico.

1.3.4. *Química General* de Linus Pauling

El libro *Química General* de Linus Pauling publicado en 1947 marcó un nuevo derrotero en la historia de los libros de texto de química universitaria. Hasta entonces prevalecía la tradición anti-atomista europea, que resaltaba la importancia de la termodinámica como principio fundamental de la química descriptiva y sistemática. Pauling, en cambio, presentó una química atomista y visual, con una nueva imaginería que facilitaban la comprensión de los nuevos modelos de átomo y molécula (Nye, 2002).

En su libro Pauling manifiesta que la evidencia de la existencia de los átomos es abrumadora y luego añade que “...*los argumentos que llevaron al desarrollo de la teoría atómica están basados en hechos químicos...*” Esta conjunción de teoría atómica y hechos químicos se ha ido reflejando, tanto en los libros de textos como en la literatura científica, en las distintas interpretaciones y explicaciones que unos y otros dan acerca de nuestro objeto de estudio: la tabla periódica.

Por tanto, hemos dedicado unas líneas para comentar brevemente el libro *Química General*, ya que ha servido de ejemplo a muchos otros autores de libros de texto universitarios (Nye, 2002). Los prólogos de algunas de sus ediciones van mostrando como se van incorporando los nuevos desarrollos científicos a su libro y como el autor va reorganizando los capítulos

de tal forma que en las primeras ediciones encontramos la tabla periódica antes del capítulo de estructura atómica, mientras en las últimas ediciones este orden está invertido.

1947: Primera edición

En el prólogo de la primera edición del libro de *Química General* de Linus Pauling (Premio Nobel de Química en 1954) publicado en 1947, se lee que los átomos ya hacen parte del vocabulario cotidiano de los ciudadanos:

“En el pasado, el curso de química general tendería necesariamente a ser un conglomerado de química descriptiva y de ciertos principios teóricos [...] Cada joven posee ahora un cierto conocimiento acerca de los átomos y los acepta como parte de su mundo (se escinden en la bomba atómica – hay que tener en cuenta que acababa de terminar la segunda guerra mundial – y los encuentra hasta en los anuncios y en las revistas infantiles).”

Sin embargo, a pesar de que, como ya se explicó, este libro marcó un momento histórico dentro de los libros de química por la inclusión de una nueva visión del átomo (Nye, 2000, Izquierdo, 2002), al continuar con la lectura del prólogo, podemos inferir que Pauling aborda el estudio de la tabla periódica desde el que hemos denominado Camino Sustancialista, veamos:

“En este libro se comienza la enseñanza de la química con el estudio de las propiedades de las sustancias en función de los átomos y moléculas. [...] En los capítulos V y VI se expone una visión de conjunto de los elementos químicos y de sus compuestos en relación con el sistema periódico, dedicando los doce capítulos siguientes a la química de los elementos individuales o grupos de elementos”.

1953: Segunda edición

En el prólogo de la segunda edición, de 1953, el autor indica:

“Se han introducido dos nuevos capítulos, el III y el VIII, que tratan de física atómica. En ellos se hace un estudio extenso del descubrimiento de los Rayos X, radiactividad, electrón, (que habían ocurrido más de 50 años atrás) núcleo atómico, naturaleza y propiedades de estos últimos, teoría cuántica, efecto fotoeléctrico, fotón, teoría atómica de Bohr (de 1913), nuevo aspecto del átomo proporcionado por la mecánica cuántica y problemas relacionados con la ciencia atómica (todos conocidos desde hacía más de 25 años).”

1955: Tercera edición en castellano

El traductor de esta nueva edición, después de informar al lector sobre el Premio obtenido recientemente por el autor, resalta la presencia de los dos nuevos capítulos mencionados anteriormente:

“Destacan por su importancia los dos nuevos capítulos: el electrón y el núcleo atómico y teoría cuántica y estructura molecular”.

1967: Novena edición

Todavía en 1967 Pauling presenta la tabla periódica antes del capítulo de estructura, estudiando las propiedades de los elementos y sus compuestos, mas no las propiedades atómicas. En el capítulo de enlace menciona la electronegatividad que, entre otras cosas, su escala es la más utilizada en la mayoría de las tablas periódicas modernas. La energía de ionización y la afinidad electrónica aparecen en el capítulo X dedicado a la estructura electrónica de los átomos.

1977: Décima edición

En su décima edición, publicada en 1977 y reimpressa en 1980, Pauling reorganiza los capítulos de su libro. Aquí el tratamiento mecánico cuántico se adelanta al capítulo tres, junto con los términos espectroscópicos de Russell – Saunders, antes de la tabla periódica.

Ahora el estudio de la tabla periódica aparece sustentado en la mecánica cuántica, en la distribución electrónica y en la importancia de los números cuánticos n y l en los niveles de energía, y no se presenta únicamente en función de la periodicidad de ciertas propiedades físicas o químicas de los elementos y sus compuestos, como anteriormente lo hacía.

Además, menciona la carga nuclear efectiva y la energía de ionización en el capítulo de tabla periódica. La afinidad electrónica y la electronegatividad aparecen en el capítulo de enlace y la polarizabilidad en el de fuerzas de Van der Waals.

En esta edición se encuentra un capítulo sobre las partículas fundamentales, que no había aparecido en las anteriores. Mientras que en la edición anterior la base de los pesos atómicos era el oxígeno, al que se le asignaba un valor arbitrario de 16.00000 gramos, cantidad denominada “átomo-gramo de oxígeno” y con base en la cuál se definía el número de Avogadro, (esta constante, representada por N, se definía como “el número de átomos de oxígeno contenidos en un átomo-gramo del mismo”), en esta última edición la masa de referencia es la del carbono – 12, y se define el mol como la cantidad de sustancia que contiene el número de Avogadro, N, (6.02×10^{23}) de moléculas. No obstante, resulta curioso que la convención de utilizar el ^{12}C como base de las masas atómicas estaba dada desde 1961, seis años antes a la publicación de la novena edición del libro *Química General* de Pauling.

Puede observarse que hasta la novena edición, el libro de Pauling seguía el camino sustancialista, pero en la décima, con el reordenamiento de sus capítulos y el nuevo enfoque que hace de la tabla periódica, estudiada desde la configuración electrónica, adopta el camino cuantomecánico atómico.

En síntesis:

Este breve recuento nos muestra cómo a lo largo del siglo XX se fueron introduciendo en los libros de textos universitarios los descubrimientos y teorías para explicar la naturaleza de la materia y sustentar el sistema periódico en sus bases reales, constatando a su vez la concordancia entre la explicación teórica basada en la estructura atómica y la configuración electrónica y las propiedades físicas y químicas observadas en las sustancias a nivel macroscópico. Sin embargo, como anota Bouma (1989), también se observó que transcurre un largo lapso entre la aparición de un avance científico en la literatura especializada y su inclusión en los libros de texto.

2. Revisión de 27 libros de texto publicados a partir de 1967

El siguiente paso en esta etapa de la investigación consistió en revisar, basados en la plantilla #1, veintisiete libros de Química General Universitaria publicados a partir de 1967. Esta información está consignada en el Anexo 1 y condensada a continuación.

2.1. Selección de la muestra

Tal como se anotó al principio de este capítulo, la mayoría de los programas de los cursos universitarios están apoyados en la bibliografía que se encuentra en el mercado y especialmente, en aquellos libros de texto a los cuales los estudiantes pueden acceder fácilmente, sin necesidad de tener que comprarlos.

Por tal razón la muestra a estudiar se seleccionó teniendo en cuenta los textos recomendados en los programas de Química General a lo largo de los últimos 25 años en la Universidad del Valle, y aquellos a los cuales tienen acceso los estudiantes de la Universidad Autónoma de Barcelona, en las bibliotecas de Ciencias e Ingenierías, que son en la práctica los mismos que tienen a su disposición los estudiantes de la Universidad del Valle en la biblioteca central de su universidad en Cali, Colombia. Como ya se dijo, ya existen en el mercado ediciones más recientes de algunos de los libros analizados, sin embargo, sólo fueron revisados los que se encontraban en las estanterías de las bibliotecas de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la bibliografía escogida para este estudio, en orden alfabético de los autores, fue la siguiente:

- AMIEL, J. (1969), *Cours de chimie*, Paris, Collection Dunod université, 1ª edición
ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968), *Química fundamental*, México, Limusa – Wiley S.A., 2ª edición
ATKINS, P., JONES, L. (1998), *Química: moléculas/ materia/ cambio*, Barcelona, Omega, 3ª edición
ATKINS, P.W. (1989), *General Chemistry*, New York, Scientific American Books, 1ª edición

- BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974), *Química general moderna*, Editorial Marín S.A., 8ª edición
- BARROW, G. (1974), *Química general*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
- BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977), *Química general* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
- BRADY, J., HUMISTON, G. (1985), *Química básica: principios y estructura*, México, Limusa – Wiley, 2ª edición en inglés, 2ª reimpresión de la 1ª edición en castellano
- COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993), *Química: estructura de la materia*, Barcelona, Biblioteca universitaria, Enciclopedia Catalana, 1ª edición
- CHANG, R. (1992), *Química*, México, Mc Graw Hill, 4ª edición
- CHRISTEN, H.R. (1977), *Fundamentos de la química general e inorgánica*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
- GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969), *Principios básicos de química*, Barcelona, Reverté, S.A., 1ª edición
- GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHEYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990), *Química* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
- LONGO, F.R. (1974), *Química general*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición
- MAHAN, B.H. (1977), *Química, Curso universitario*, México, Fondo educativo interamericano S.A., 3ª edición en inglés, 2ª en castellano
- MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984), *Introduction to chemistry*, Philadelphia, CBS College publishing, 1ª edición
- MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990), *Química general superior*, Madrid, Mc Graw Hill – Interamericana, 6ª edición
- METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982), *Química moderna*, México D.F., Interamericana, 1ª edición
- MORTIMER, C.E., (1983), *Química*, México, Grupo editorial Iberoamérica, traducción de la 5ª edición en inglés
- PAULING, L. (1967), *Química general, una introducción a la química descriptiva y a la moderna teoría química*. Madrid, Aguilar, 9ª edición
- PAULING, L. (1980), *Química General*, Madrid, Aguilar, 10ª edición, 1ª reimpresión
- RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990), *Química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición
- SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968), *Química general*, México, Limusa-Wiley S.A., 1ª edición
- USON LACAL, R. (1974), *Química universitaria básica*, Madrid, Alambra, 2ª edición
- WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985), *Química general*, México, Nueva editorial interamericana S.A. de C.V., 1ª edición
- WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992), *Química general*, México, Mc Graw Hill, 3ª edición en inglés, 2ª en castellano
- ZUMDAHL, S.S. (1992), *Fundamentos de química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición

2.1.1. Clasificación cronológica

Todos estos textos fueron publicados a partir de 1967, es decir, prácticamente un siglo después de que Dimitri Mendeleiev diera a conocer su ley natural del sistema periódico, tema central de esta investigación.

El orden de aparición de estos textos fue el siguiente:

1. PAULING, L. (1967), *Química general, una introducción a la química descriptiva y a la moderna teoría química*. Madrid, Aguilar, 9ª edición
2. SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968), *Química general*, México, Limusa-Wiley S.A., 1ª edición
3. ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968), *Química fundamental*, México, Limusa – Wiley S.A., 2ª edición
4. AMIEL, J. (1969), *Cours de chimie*, Paris, Collection Dunod université, 1ª edición
5. GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969), *Principios básicos de química*, Barcelona, Reverté, S.A., 1ª edición
6. BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974), *Química general moderna*, Editorial Marín S.A., 8ª edición
7. BARROW, G. (1974), *Química general*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
8. LONGO, F.R. (1974), *Química general*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición
9. USON LACAL, R. (1974), *Química universitaria básica*, Madrid, Alambra, 2ª edición
10. BECKER, R., Alambra, 2ª edición BECKER, R. *Química general* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
11. CHRISTEN, H.R. (1977), *Fundamentos de la química general e inorgánica*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
12. MAHAN, B.H. (1977), *Química, Curso universitario*, México, Fondo educativo interamericano S.A., 3ª edición en inglés, 2ª en castellano
13. PAULING, L. (1980), *Química General*, Madrid, Aguilar, 10ª edición, 1ª reimpresión
14. METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982), *Química moderna*, México D.F., Interamericana, 1ª edición
15. MORTIMER, C.E., (1983), *Química*, México, Grupo editorial Iberoamérica, traducción de la 5ª edición en inglés
16. MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984), *Introduction to chemistry*, Philadelphia, CBS College publishing, 1ª edición
17. BRADY, J., HUMISTON, G. (1985), *Química básica: principios y estructura*, México, Limusa – Wiley, 2ª edición en inglés, 2ª reimpresión de la 1ª edición en castellano
18. WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985), *Química general*, México, Nueva editorial interamericana S.A. de C.V., 1ª edición
19. ATKINS, P.W. (1989), *General Chemistry*, New York, Scientific American Books, 1ª edición
20. MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990), *Química general superior*, Madrid, Mc Graw Hill – Interamericana, 6ª edición

21. GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHEYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990), *Química* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición
22. RUSSELL, J.B., LARENA, A. (1990), *Química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición
23. CHANG, R. (1992), *Química*, México, Mc Graw Hill, 4ª edición
24. WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992), *Química general*, México, Mc Graw Hill, 3ª edición en inglés, 2ª en castellano
25. ZUMDAHL, S.S. (1992), *Fundamentos de química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición
26. COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993), *Química: estructura de la materia*, Barcelona, Biblioteca universitaria, Enciclopedia Catalana, 1ª edición
27. ATKINS, P., JONES, L. (1998), *Química: moléculas/ materia/ cambio*, Barcelona, Omega, 3ª edición

De esta forma, la muestra analizada abarca:

5 libros publicados entre 1967 y 1969.

7 libros publicados en la década de los 70's.

7 libros publicados en la década de los 80's.

8 libros publicados en la década de los 90's.

2.1.2. Clasificación por idiomas

Con el fin de tener una muestra más universal, a pesar de que la mayor parte de la bibliografía consultada está en castellano, se analizaron algunos textos originales en inglés, francés y catalán.

De los 27 textos estudiados, 23 están en castellano, uno en catalán, uno en francés y 2 en inglés.

2.1.3. Clasificación por editoriales

Por otra parte, en los textos estudiados están representadas doce de las editoriales más importantes de textos en castellano, además de una catalana, una francesa y dos norteamericanas, así:

2.2. Aspectos de interés

Hoy en día, todos los libros de química universitaria incluyen la tabla periódica, ya sea dedicándole un capítulo particular, o dentro de otro capítulo. (Ver anexo 2, parrilla de revisión de los libros de Química). Muchos, además, destacan su importancia en el aprendizaje de la química. Entre los libros revisados en esta investigación encontramos comentarios como estos:

“El valor de la tabla periódica en la organización del conocimiento químico está más que demostrado”. Rusell, J.B., Larena, A. (1990), *Química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición

“Los distintos intentos que se hicieron para clasificar los elementos en función de las semejanzas y diferencias existentes entre sus propiedades, culminaron en 1869 con la formulación de la “ley periódica” reflejada en forma de “tabla o sistema periódico” por Dimitri Mendeleiev. [...] La formulación de la tabla periódica estableció el comienzo de una nueva era para la química. Sirvió desde entonces para alcanzar una comprensión mucho más profunda de las propiedades de los elementos y todavía, hoy en día, constituye uno de los más importantes instrumentos de sistematización de que disponen los químicos”. Guillespie, R.J., Baird, D.A., Humpheys, D.A., Robinson E.A. (1990), *Química (2 tomos)*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición

“La tabla periódica está relacionada directamente a la estructura electrónica de los elementos [...] Para los estudiantes de Química, el uso más importante de la tabla periódica estriba en la habilidad para acomodar y resumir la gran cantidad de química descriptiva que se encuentra en el primer curso. El estudiante debe tratar de asociar toda la información química posible con la tabla y con la sólida armazón de la química que ella representa. [...] Entre los conceptos simples en química, el más importante y útil es indudablemente, la relación periódica de los elementos.[...] Es notable que la conformación de la tabla periódica se correlaciona perfectamente con los conceptos cuánticos de estructura atómica”. Slabaugh, W.H., Parsons, T.D. (1968), *Química general*, México, Limusa-Wiley S.A., 1ª edición

“La formulación de la tabla periódica estableció el comienzo de una nueva era para la química. Sirvió desde entonces para alcanzar una comprensión mucho más profunda de las propiedades de los elementos y todavía, hoy en día, constituye uno de los más importantes instrumentos de sistematización de que disponen los químicos”. Guillespie, R.J., Baird, D.A., Humpheys, D.A., Robinson E.A. (1990), *Química (2 tomos)*, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición

“Cuando se enseña o se practica la química, casi siempre se emplea una tabla periódica que suele estar colgada en las paredes del salón de clases. En ella se indican todos los elementos conocidos y mucha información acerca de ellos. Al progresar en el estudio de la Química, la utilidad de esta tabla será más evidente”. Zumdahl, S.S. (1992), *Fundamentos de química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición

“La tabla periódica correlaciona el comportamiento químico de los elementos en forma sistemática y ayuda a recordar y entender.” Chang, R. (1992), *Química*, México, Mc Graw Hill, 4ª edición

*“La tabla periódica nos ayudará a correlacionar, recordar y pronosticar la química detallada de los elementos.” Mahan, B.H. (1977), *Química, Curso universitario*, México, Fondo educativo interamericano S.A., 3ª edición en inglés, 2ª en castellano*

*“...probablemente esté familiarizado con el modo de organizar las propiedades de los elementos. Se realiza mediante el sistema periódico de los elementos y dice: 1) las filas horizontales se llaman períodos y 2) las columnas, grupos. [...] Los científicos tienden constantemente a agrupar los hechos de tal manera que sean más aparentes sus diferencias o sus similitudes. En química, el instrumento más útil para este fin es el sistema periódico de los elementos”. Masterton, W., Slowinski, E., Stanitski, C. (1990), *Química general superior*, Madrid, Mc Graw Hill – Interamericana, 6ª edición*

En esta revisión nos interesa observar en que orden son presentados algunos temas, por ejemplo, si la tabla periódica aparece antes, con o después del tratamiento de estructura atómica y configuración electrónica. Igualmente, buscamos cual definición de elemento es la preferida y si hay más de una a lo largo del texto; si se habla de sustancia o de sustancia pura.

Por otra parte, también queremos conocer desde que punto de partida se accede al estudio de la tabla periódica: desde la historia, desde las propiedades de las sustancias o desde la configuración electrónica y la estructura atómica. Como ya lo habíamos mencionado, a estas formas de acceder las hemos denominado Caminos. Así, tenemos un Camino Histórico (CH), un Camino Sustancialista (CS) y un Camino Cuánto-mecánico Atomicista (CCA).

Finalmente, también nos interesa saber cuales propiedades atómicas son tratadas, si aparecen en el capítulo correspondiente a tabla periódica o en otro y que convenciones utiliza el texto, tanto con respecto al signo de las energías, como a la numeración de los grupos de la tabla.

En resumen, los aspectos investigados utilizando la plantilla #1 y tabulados a continuación son:

- Relación entre estructura atómica y tabla periódica.
- El concepto de sustancia..
- Si existe un recuento histórico.
- Definición de elemento.

- Punto de partida para la presentación de la tabla periódica.
- Denominación de los bloques y grupos de la tabla periódica.
- Propiedades atómicas.
- Otras propiedades de las sustancias simples.

Los libros se han organizado y numerado cronológicamente, y se han utilizado algunas abreviaturas en las tablas de resumen de los datos. Estas abreviaturas son:

TP: Tabla Periódica

EA: Estructura atómica

Z*: carga nuclear efectiva

r: radio

I: Energía de Ionización

AE: Afinidad electrónica

Pol: Polarizabilidad

EN: Electronegatividad

Con el fin de reducir el número de tablas y facilitar la lectura de este capítulo, sólo hemos conservado en ellas el apellido del autor (o los autores) y el año de publicación del libro, ordenándolos cronológicamente.

2.2.1. Estructura atómica y tabla periódica

Antes de conocerse la estructura interna del átomo, todas las interpretaciones de las regularidades de la materia se hacían a través de sus propiedades físicas macroscópicas y de su comportamiento y reactividad química. Sin embargo, una vez establecida la estructura atómica se pudo explicar completamente el por qué del ordenamiento de los elementos dentro de un sistema periódico, como lo muestran los artículos de la sección 1.2.1 del capítulo 4.

Como se comentó en el marco teórico, desde 1939 ya había quienes planteaban la importancia de enseñar la tabla periódica tanto en la secundaria como en la universidad a partir de la estructura atómica. Al respecto Foster (1939) escribía que:

“Hasta que los autores de los libros de secundaria y de universidad no acepten la tabla periódica moderna, los lectores seguirán confundidos y limitados en sus pensamientos sobre la periodicidad de las propiedades físicas y químicas. La ley periódica, una de las mayores generalizaciones de la ciencia, debe ser uno de los tópicos principales, pero sólo introduciéndola a través de su relación con la estructura atómica puede volverse vital y estimulante para los estudiantes.”

Es por esta razón que muchos textos, y muchos profesores, consideran conveniente enseñar primero la estructura atómica y las configuraciones electrónicas, y después, explicar la tabla periódica y la variación de las propiedades atómicas en sus grupos y períodos.

No obstante, no todos los textos universitarios de química general tienen el mismo orden de presentación. En la muestra estudiada, los resultados que se obtuvieron respecto al orden de presentación de los temas de estructura atómica y tabla periódica se muestran en la tabla 2.

De acuerdo con la información recogida (Tabla 2), 5 textos presentan la tabla periódica antes de explicar estructura atómica, 8 la incluyen en el capítulo de estructura atómica y 14 la exponen en algún capítulo posterior al tratamiento de la estructura del átomo.

Ahora bien, podemos considerar que los libros que tratan la tabla periódica en el mismo capítulo que estructura atómica, en cierta forma siguen el mismo orden de aquellos que presenta primero la estructura atómica y después la tabla periódica, por lo que encontramos 22 de los 27 libros con esta preferencia.

2.2.2. El concepto de sustancia

En el pasado Congreso de Didáctica de las Ciencias Experimentales realizado en Barcelona en Septiembre del 2001, durante la presentación “el concepto sustancia” (Furió y Domínguez, 2001), se suscitó la discusión acerca del inadecuado uso del término “sustancia

pura” para referirse a las sustancias, ya que, como bien decía la expositora, decir sustancia pura es una redundancia. Si se trata de una sustancia, necesariamente debe ser pura, homogénea y constituida únicamente por un elemento, o por un compuesto. Sin embargo, muchos profesores continúan utilizando el término “sustancia pura” probablemente porque lo han tomado de los libros de texto que consultan.

Para conocer cómo se refieren los textos de química general universitarios a este respecto, revisé “los conceptos generales” que presentan en sus primeros capítulos la mayoría de los libros. Los resultados están tabulados en la tabla 2.

De los 27 textos analizados solamente 3 denominan sustancias los materiales constituidos por un solo tipo de elemento o compuesto. 14 utilizan “sustancia pura” y los diez restantes o no la mencionan o usan expresiones como sustancias sencillas.

2.2.3. Recuento histórico

Por otra parte, una de las carencias más notorias en los libros de texto universitarios de química general es el aspecto histórico (Solbes y Traver, 1996, Lires et al. 2001). Algunos libros sólo citan algunos eventos anecdóticos, o narran momentos puntuales de algunos descubrimientos, y excepcionalmente incluyen biografías de personajes famosos, casi siempre, varones. En la tabla 2 se indica cuales textos hacen recuento histórico, cuales lo hacen de forma muy breve y cuales no lo hacen.

En realidad, el único que tiene un capítulo completo dedicado a la historia de la química, con bastantes detalles, biografías y fotografías es el libro de Babor e Ibarz. La información ahí consignada fue la base del poema que escribí sobre la Historia de la Tabla Periódica.

La tabla 2 resume los resultados encontrados en los puntos 2.2.1, 2.2.2 y 2.2.3.

Las relaciones entre la tabla periódica y la estructura atómica se identifican de la siguiente manera:

1. Tabla periódica es presentada antes que estructura atómica
2. Tabla periódica es presentada junto con estructura atómica
3. Estructura atómica es presentada antes que tabla periódica

Con respecto a cómo se refieren a las sustancias los libros consultados, los resultados están identificados de acuerdo a la siguiente numeración en la tabla 2.

1. Utilizan el término sustancia
2. Utilizan “sustancia pura”
3. No lo mencionan o utilizan otra expresión como “sustancia elemental”

		TP y EA			SUSTANCIA			HISTORIA		
		1	2	3	1	2	3	Sí	poco	no
1	PAULING, L. (1967)			X			X	X		
2	SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968)			X		X			X	
3	ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968)		X			X				X
4	AMIEL, J. (1969)			X			X		X	
5	GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969)	X				X		X		
6	BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974)	X			X			X		
7	BARROW, G. (1974)	X				X			X	
8	LONGO, F.R. (1974)			X			X	X		
9	USON LACAL, R. (1974)		X		X					X
10	BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977)			X		X			X	
11	CHRISTEN, H.R. (1977)			X			X		X	
12	MAHAN, B.H. (1977)			X			X		X	
13	PAULING, L. (1980)			X			X	X		
14	METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982)			X		X			X	
15	MORTIMER, C.E., (1983)		X			X		X		
16	MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984)		X				X		X	
17	BRADY, J., HUMISTON, G. (1985)		X			X				X
18	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985)			X		X			X	
19	ATKINS, P.W. (1989)		X				X		X	
20	MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990)			X		X		X		
21	GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHREYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990)	X				X		X		
22	RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990)			X		X		X		
23	CHANG, R. (1992)	X			X			X		
24	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D.,			X		X				X

	DAVIS, R. (1992)								
25	ZUMDAHL, S.S. (1992)	X			X		X		
26	COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993)		X			X			X
27	ATKINS, P., JONES, L. (1998)	X				X		X	

Tabla 2

2.2.4. Definición de elemento

Otro de los conceptos que presenta confusión por la diversidad de definiciones que aparecen en los libros de texto, es el de elemento. Los resultados encontrados se resumen en la tabla 3.

De los 27 textos consultados, 15 definen elemento en primera instancia como una sustancia que no se puede descomponer en otras, 8 mencionan que está constituido por átomos iguales, aunque sólo 5 de ellos dan esta como primera definición, únicamente dos lo definen en primera instancia por su número atómico y, por último, 5 textos no dan ninguna definición de elemento.

2.2.5. Punto de partida de la tabla periódica

El tema de Tabla Periódica aparece en todos los textos de Química General, aunque sea de una forma breve, o dentro de un capítulo dedicado a otros temas propios de los cursos básicos, como por ejemplo estructura atómica o enlace.

El estudio de la tabla periódica y las propiedades periódicas es abordado generalmente desde uno de estos tres puntos de partida:

- 1.- la historia
- 2.- la configuración electrónica
- 3.- las propiedades de elementos y compuestos

Igual que con el concepto de elemento, algunos textos acceden al tema de tabla periódica desde distintos puntos, o cuentan inicialmente la historia de cómo se llegó al sistema periódico de los elementos, pero inmediatamente aclaran que lo que determina la posición de un elemento en una determinada casilla es su distribución electrónica. En estos casos se indica el orden en que aparecen presentados. Los resultados obtenidos están en la tabla 3.

Como puede observarse, siete de los libros en estudio acceden desde la historia, 13 desde la configuración electrónica y 6 desde las propiedades de las sustancias.

2.2.6. Denominación de los bloques y grupos de la tabla periódica

Originalmente la tabla periódica tenía ocho columnas, conocidas como grupos o familias. Estos grupos, correspondientes a las valencias o capacidad de combinación con el hidrógeno y el oxígeno se numeraban con los números griegos del I al VIII.

Cuando la tabla tomó su forma larga, se adoptaron distintas clasificaciones para denominar los grupos. Algunos autores asignan la letra A para referirse al bloque principal, y la letra B para los metales de transición. Otros prefieren denominar A los primeros ocho grupos, es decir desde los metales alcalinos hasta el grupo del hierro, cobalto y níquel y sus congéneres y B a los ocho restantes (Fernelius y Powell, 1982). Existen otros que han adoptado la numeración de la IUPAC, es decir, utilizan números arábigos para los 18 grupos de la tabla (Loening, 1984).

Algunos otros clasifican los elementos de acuerdo con el tipo de orbital en que tienen sus últimos electrones bajo la denominación de bloques s, p, d y f. Finalmente, hay quienes sólo se refieren a los elementos del bloque principal ignorando todos los demás.

La tabla 3 reúne los resultados de los puntos 2.2.4., 2.2.5 y 2.2.6.

Con respecto al concepto elemento encontramos que las tres definiciones más comunes suelen ser:

1. Un elemento es una sustancia que no puede dividirse o descomponerse en otras más sencillas
2. Un elemento consiste en átomos idénticos
3. Un elemento está determinado por su número atómico, Z
4. El concepto elemento no está definido

Algunos textos utilizan más de una definición a lo largo del libro cuando se refieren a elemento, en este caso, se señalarán ambas, indicando el orden en que se mencionan.

En cuanto al camino a través del cual acceden al estudio de la tabla periódica, la tabla 3 indica los tres encontrados:

1. la historia
2. la configuración electrónica
3. las propiedades de elementos y compuestos

Por último, los grupos de la tabla periódica son denominados de cinco formas diferentes, según muestra la tabla 3:

1. Clasificación A para el bloque principal y B para metales de transición
2. Clasificación A para los primeros 8 grupos y B para los últimos
3. Clasificación del 1 – 18
4. Clasificación por bloques s, p, d, f
5. Sólo mencionan el bloque principal o no especifican

Capítulo 5

		ELEMENTO				ACCEDE DESDE			DENOMINACIÓN				
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5
1	PAULING, L. (1967)		1°	2°				X		X			
2	SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968)		X			1°	2°		X				
3	ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968)				X		X						X
4	AMIEL, J. (1969)	1°	2°				X			X			
5	GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969)	X				1°		2°	X				
6	BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974)	X				X				X			
7	BARROW, G. (1974)				X			X				X	
8	LONGO, F.R. (1974)	X				1°	2°		X				
9	USON LACAL, R. (1974)		1°	2°		2°	1°					X	
10	BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977)			X			X		X				
11	CHRISTEN, H.R. (1977)			X			X			X			
12	MAHAN, B.H. (1977)				X		X		X				
13	PAULING, L. (1980)				X		2°	1°		X			
14	METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982)	X				1°		2°				X	X
15	MORTIMER, C.E., (1983)	X					X		X				
16	MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984)	X				2°	1°						X
17	BRADY, J., HUMISTON, G. (1985)	X					X						X
18	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985)	X				2°	1°		X				
19	ATKINS, P.W. (1989)		X				X						X
20	MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990)	X				2°	3°	1°					X
21	GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHEYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990)	1°	2°				2°	1°			X		
22	RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990)	X				1°	2°		X				
23	CHANG, R. (1992)	X				1°			X		X		
24	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992)	X					2°	1°	X				
25	ZUMDAHL, S.S. (1992)	1°	2°	3°					X				X
26	COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993)				X	1°	2°						X
27	ATKINS, P., JONES, L. (1998)		X			2°	1°		X				

Tabla 3

2.2.7. Propiedades atómicas

Con el fin de poder comparar, con una visión general, las propiedades atómicas tratadas en los distintos textos, se presenta a continuación una tabla con las seis propiedades que se esperaba encontrar, teniendo en cuenta que son las más comúnmente estudiadas en los cursos de química general. Posteriormente se hará un análisis de cada una de ellas. Algunas de estas propiedades aparecen en un capítulo diferente al de la tabla periódica, en tales casos se indicará con una doble cruz (XX).

Estas propiedades son:

Z^* = carga nuclear efectiva, r = radio (tamaño), I = energía de ionización, AE = afinidad electrónica, pol = polarizabilidad y EN = electronegatividad

		Z^*	r	I	AE	pol	EN
1	PAULING, L. (1967)		X	XX	XX		XX
2	SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968)	X	X	X	X	XX	X
3	ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968)	X	X	X	X		
4	AMIEL, J. (1969)	X	X	X	X	XX	X
5	GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969)		X	X	X		XX
6	BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974)		XX	X			XX
7	BARROW, G. (1974)						X
8	LONGO, F.R. (1974)	X	X	X	X		XX
9	USON LACAL, R. (1974)		X	XX	XX	XX	XX
10	BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977)		X	X	X		X
11	CHRISTEN, H.R. (1977)	X	X	X	X		X
12	MAHAN, B.H. (1977)	X	X	X	X		X
13	PAULING, L. (1980)	X		X	XX	XX	XX
14	METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982)	X	X	X			
15	MORTIMER, C.E., (1983)	X	X	X	X	X	XX
16	MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984)			X			X
17	BRADY, J., HUMISTON, G. (1985)	X	X	X	X	XX	XX
18	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985)		X	X	X		X
19	ATKINS, P.W. (1989)	X	X	X	X	XX	X
20	MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990)	X	X	X			XX
21	GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHREYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990)	X	X	X	X	XX	XX
22	RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990)	X	X	X	X	XX	XX
23	CHANG, R. (1992)	X	X	X	X	XX	XX
24	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992)		X	X	X		X
25	ZUMDAHL, S.S. (1992)		X	X			XX
26	COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993)		X	X	X	XX	X
27	ATKINS, P., JONES, L. (1998)		X	X	X	XX	XX

Tabla 4

Sobre cada una de estas propiedades atómicas, comúnmente denominadas “periódicas”, se hicieron algunas observaciones particulares. Por ejemplo, en el caso de la carga nuclear efectiva, se buscó si se hacía algún tipo de cálculo numérico o si simplemente se la mencionaba cualitativamente. En el caso del radio, se tuvo en cuenta qué tipos de radios eran mencionados. En el caso de la afinidad electrónica nos interesaba conocer con qué signo se representaba una fuerte atracción por un electrón, es decir, lo que se conoce como una afinidad electrónica alta.

- **Carga nuclear efectiva**

La carga nuclear efectiva, como ya se ha dicho, se define como la carga positiva o carga del núcleo que realmente siente un electrón en un átomo, sabiendo que todos los electrones que están entre el núcleo y el electrón que nos interesa ejercen un efecto de pantalla, llamado también apantallamiento. Por tanto, la carga del núcleo que llega a los electrones periféricos es mucho menor que la esperada. Existen varios métodos para calcular la carga nuclear efectiva, Z^* , (Huheey, 1981), sin embargo, de modo general se puede decir que:

$$Z^* = Z - \text{factor de apantallamiento}$$

Algunos autores consideran (Lewis y Waddling, 1986; Waldron et al. 2001) – yo también– que es la carga nuclear efectiva la que determina otras propiedades del átomo, tales como su tamaño, la energía de ionización, la afinidad electrónica, la polarizabilidad y la electronegatividad, ya que todas ellas dependen en definitiva de la fuerza con que el núcleo atraiga a sus electrones. De ahí que la haya colocado en primer lugar.

Entre los textos analizados solamente el de Amiel (1969) hace cálculos de Z^* por el método de Slater. Algunos hacen un cálculo aproximado, considerando que cada electrón interior apantalla uno de los protones del átomo. Otros sólo mencionan la carga nuclear y el apantallamiento como factores determinantes de las demás propiedades, pero sin hacer ningún tipo de cálculo. Y, finalmente, hay aquellos que ni siquiera mencionan la carga nuclear.

Como hicimos en los primeros numerales de esta sección, agruparemos en una tabla varios aspectos analizados. La tabla 5 contiene los resultados concernientes a la carga nuclear efectiva, el tamaño y la energía de ionización.

- **Tamaño atómico**

Aún antes de conocer la estructura interna del átomo, ya se hacían cálculos de volúmenes atómicos a través del peso atómico y de la densidad de la sustancia simple.

El tamaño del átomo es una de las propiedades comúnmente estudiadas para relacionarla posteriormente con la energía de ionización y la fortaleza de los enlaces. Algunos textos lo presentan como radio atómico, definido como la mitad de la distancia internuclear de un enlace homonuclear. Algunos otros lo expresan como volumen atómico y otros consideran además del radio atómico, el radio iónico como parámetro de interés para ser analizado.

El radio iónico es de interés en el estudio del enlace iónico, ya que es muy importante para los efectos de polarizabilidad, como se verá más adelante.

En la tabla 5 se encuentra la información concerniente al estudio del tamaño atómico en los textos analizados.

- **Energía de ionización**

La energía de ionización es quizás la propiedad atómica más utilizada para mostrar lo que son las tendencias en la tabla periódica.

En un período, por ejemplo, la tendencia observada es que la energía de ionización aumenta de izquierda a derecha. Sin embargo, este aumento no es lineal ya que las capas llenas y semillenas son más estables que las demás y, por tanto, aparecen máximos y mínimos en la gráfica de I vs, Z , que entre otras cosas es la gráfica más común en el

capítulo de variación de las propiedades periódicas en los libros de texto. Los resultados obtenidos están en la tabla 5.

Los resultados obtenidos respecto a la investigación sobre el concepto y cálculo de la carga nuclear efectiva se resumen en la tabla 5 así:

1. Menciona y calcula Z^* por el método de Slater
2. Menciona y calcula Z^* por algún método alternativo
3. Menciona la carga nuclear y el apantallamiento, pero no hace cálculos.
4. No mencionan la carga nuclear como factor determinante de la variación de las otras propiedades

En cuanto al tamaño, la tabla 5 muestra los siguientes resultados:

1. Radio atómico
2. Radio iónico
3. Volumen atómico
4. No lo consideran

Con respecto a la energía de ionización se encontró:

1. La presentan en el capítulo de tabla periódica
2. La presentan en el capítulo de enlace
3. No la mencionan

		Z^*				TAMAÑO				I		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	PAULING, L. (1967)				X			X			X	
2	SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968)			X				X		X		
3	ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968)			X		X				X		
4	AMIEL, J. (1969)	X				X				X		
5	GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969)				X	X				X		
6	BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974)				X	X				X		
7	BARROW, G. (1974)				X				X			X
8	LONGO, F.R. (1974)		X			X				X		
9	USON LACAL, R. (1974)				X			X			X	

10	BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977)				X	X	X			X		
11	CHRISTEN, H.R. (1977)			X		X	X			X		
12	MAHAN, B.H. (1977)			X		X				X		
13	PAULING, L. (1980)			X					X	X		
14	METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982)			X		X				X		
15	MORTIMER, C.E., (1983)			X		X	X			X		
16	MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984)				X				X	X		
17	BRADY, J., HUMISTON, G. (1985)	X				X	X			X		
18	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985)				X	X				X		
19	ATKINS, P.W. (1989)			X		X	X			X		
20	MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990)	X				X				X		
21	GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHEYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990)	X				X				X		
22	RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990)			X		X				X		
23	CHANG, R. (1992)			X		X	X			X		
24	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992)				X	X	X			X		
25	ZUMDAHL, S.S. (1992)				X	X				X		
26	COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993)				X	X	X			X		
27	ATKINS, P., JONES, L. (1998)				X	X	X			X		

Tabla 5

- **Afinidad electrónica**

La afinidad electrónica, que se define como la energía intercambiada cuando un átomo gaseoso gana un electrón, es considerada por algunos como el proceso inverso de la ionización. Para la mayoría de los elementos la ganancia de un primer electrón es un proceso exotérmico, y por lo tanto, de acuerdo con las convenciones de la termodinámica, como energía liberada, debe tener signo negativo. No obstante, aunque muchos textos explican este hecho, le asignan signo positivo cuando un átomo tiene gran afinidad por el electrón. La tabla 6 recoge los resultados encontrados en la revisión.

- **Polarizabilidad**

Una propiedad muy importante para explicar la transición del enlace iónico al enlace covalente es la polarizabilidad, que como ya se ha mencionado es la susceptibilidad que

tiene una nube electrónica a ser deformada por una carga positiva o por otra nube electrónica.

Cuando en un enlace originalmente iónico la nube del anión es deformada por su contraión, el catión acompañante, el enlace adquiere ciertas características covalentes, que modifican sustancialmente las propiedades del compuesto. Solamente Atkins(1998) y Uson (1974) hacen referencia a este hecho. La tabla 6 resume los resultados encontrados con respecto a la polarizabilidad.

Al hablar de polarizabilidad es importante notar que, por una parte está la especie que se deforma, que se polariza, y por otra, aquella que causa la deformación. La primera es denominada polarizable y la segunda polarizante.

Las reglas de Fajans enuncian los factores que determinan que una especie se comporte como agente polarizante o que se deje polarizar.

- **Electronegatividad**

La electronegatividad está definida como la capacidad de un átomo en una molécula para atraer los electrones del enlace hacia sí.

Existen varias escalas de electronegatividad. De ellas, la más conocida es la de Pauling, cuyos valores aparecen en la mayoría de las tablas periódicas que manejan los estudiantes. Otra escala comúnmente utilizada es la de Mulliken, que define la electronegatividad como el promedio entre la energía de ionización y la afinidad electrónica.

La importancia de la electronegatividad es que confiere carácter iónico a un enlace originalmente covalente.

En la tabla 6 se indica lo hallado en los libros revisados en cuanto a la afinidad electrónica así:

1. La AE se trata en tabla periódica
2. La AE se trata en otro capítulo
3. La energía liberada se expresa con signo negativo
4. La energía liberada se expresa con signo positivo
5. No la mencionan

Respecto a la polarizabilidad en los libros de textos estudiados encontramos que:

1. La mencionan en el capítulo de Tabla Periódica
2. La mencionan en otro capítulo
3. No la mencionan

Para la electronegatividad, en los textos analizados se encontró que:

1. Mencionan la electronegatividad en el capítulo de Tabla Periódica
2. Mencionan la electronegatividad en otro capítulo
3. No mencionan la electronegatividad

		AE					POL			EN		
		1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3
1	PAULING, L. (1967)		X						X		X	
2	SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968)	X			X			X		X		
3	ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968)	X		X					X			X
4	AMIEL, J. (1969)	X			X			X		X		
5	GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969)	X			X				X		X	
6	BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974)					X			X		X	
7	BARROW, G. (1974)					X			X	X		
8	LONGO, F.R. (1974)	X			X				X		X	
9	USON LACAL, R. (1974)		X		X			X			X	
10	BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977)	X			X				X	X		
11	CHRISTEN, H.R. (1977)	X		X				X		X		
12	MAHAN, B.H. (1977)	X			X				X	X		
13	PAULING, L. (1980)		X		X			X			X	
14	METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982)	X			X				X			X
15	MORTIMER, C.E., (1983)	X		X			X				X	
16	MASTERTON, W.L., CHERIM,					X			X	X		

	S.M. (1984)										
17	BRADY, J., HUMISTON, G. (1985)	X		X			X			X	
18	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985)	X			X			X	X		
19	ATKINS, P.W. (1989)	X		X			X		X		
20	MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990)					X		X		X	
21	GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHEYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990)	X			X		X			X	
22	RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990)	X			X		X			X	
23	CHANG, R. (1992)	X		X			X			X	
24	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992)	X		X				X	X		
25	ZUMDAHL, S.S. (1992)					X		X		X	
26	COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993)	X			X		X		X		
27	ATKINS, P., JONES, L. (1998)	X			X		X			X	

Tabla 6

- **Otras propiedades de las sustancias simples**

Además del estudio de algunas propiedades atómicas, ciertos textos incluyen la variación periódica de algunas propiedades físicas y químicas de las sustancias simples, tales como su carácter metálico o no metálico, su punto de fusión y/o de ebullición, su densidad, su capacidad para formar cierto tipo de compuestos o los óxidos y/o haluros característicos.

Lo encontrado en la muestra estudiada se detalla a continuación:

- 1.- carácter metálico o no metálico y/o propiedades metálicas o no metálicas
- 2.- punto de fusión
- 3.- punto de ebullición
- 4.- densidad
- 5.- número o estado de oxidación (valencia)
- 6.- conductividad eléctrica
- 7.- conductividad térmica
- 8.- dureza
- 9.- índice de refracción
- 10.- energía libre de formación

- 11.- carácter del enlace
- 12.- resistencia eléctrica
- 13.- oxidantes y reductores
- 14.- acidez y basicidad
- 15.- comportamiento magnético
- 16.- entalpía de sublimación, de vaporización y/o de solvatación
- 17.- compuestos típicos
- 18.- espectros

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	PAULING, L. (1967)	x					x												
2	SLABAUGH, W.H., PARSONS, T.D. (1968)		x	x	x	x													
3	ANDREWS, D.H., KOKES, R.J. (1968)		x	x						x		x							
4	AMIEL, J. (1969)		x			x					x								
5	GRAY, H.B., HAIGHT, G.P., Jr. (1969).	x	x	x															x
6	BABOR, J.A., IBARZ AZNÁREZ, J. (1974)																		
7	BARROW, G. (1974)	x				x								x					
8	LONGO, F.R. (1974)	x				x								x					
9	USON LACAL, R. (1974)		x	x	x														
10	BECKER, R.S., WENTWORTH, W.E. (1977)	x					x												
11	CHRISTEN, H.R. (1977)	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x		x
12	MAHAN, B.H. (1977)	x				x	x												
13	PAULING, L. (1980)				x														x
14	METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J.F. (1982)		x	x	x	x													
15	MORTIMER, C.E., (1983)	x				x													
16	MASTERTON, W.L., CHERIM, S.M. (1984)	x																	
17	BRADY, J., HUMISTON, G. (1985)																		
18	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D. (1985)		x	x		x													
19	ATKINS, P.W. (1989)		x	x	x														
20	MASTERTON, W., SLOWINSKI, E., STANITSKI, C. (1990)	x																	
21	GUILLESPIE, R.J., BAIRD, D.A., HUMPHEYS, D.A., ROBINSON E.A. (1990)					x													x
22	RUSELL, J.B., LARENA, A. (1990)		x	x	x		x	x	x										
23	CHANG, R. (1992)	x	x	x	x		x	x										x	
24	WHITTEN, K.W., GAILEY, K.D., DAVIS, R. (1992)	x																	
25	ZUMDAHL, S.S. (1992)	x																	
26	COSTA, J.M., LLUCH, J.M., PÉREZ, J.J. (1993)	x																	
27	ATKINS, P., JONES, L. (1998)																		

Tabla 7

Toda la información contenida en las tablas 2 a 7 se transfirió a unas tablas resumen, que permiten verla de manera global y encontrar las diferencias y similitudes entre los textos revisados.

Para facilitar el manejo de las tablas resumen que aparecen a continuación, identificaremos los textos con su correspondiente número asignado, como ya se dijo, por su aparición cronológica en el mercado.

3. Discusión de los resultados

En 1905, Mendeleiev vaticinaria: *“Según todas las apariencias, el porvenir no amenaza con destruir la ley periódica, tan sólo promete añadir superestructuras y desarrollos..”* (Kolodkine, 1963).

Hoy en día, como hemos visto en este trabajo, todos los libros de química universitaria incluyen la tabla periódica, ya sea dedicándole un capítulo particular, o dentro de otro capítulo. Muchos, además, destacan su importancia en el aprendizaje de la química. Entre los libros revisados en esta investigación encontramos comentarios como estos:

“El valor de la tabla periódica en la organización del conocimiento químico está más que demostrado”.
Russell, J.B., Larena, A. (1990), *Química*, México, Mc Graw Hill, 1ª edición

“Los distintos intentos que se hicieron para clasificar los elementos en función de las semejanzas y diferencias existentes entre sus propiedades, culminaron en 1869 con la formulación de la “ley periódica” reflejada en forma de “tabla o sistema periódico” por Dimitri Mendeleiev. [...] La formulación de la tabla periódica estableció el comienzo de una nueva era para la química. Sirvió desde entonces para alcanzar una comprensión mucho más profunda de las propiedades de los elementos y todavía, hoy en día, constituye uno de los más importantes instrumentos de sistematización de que disponen los químicos”. Gillespie, R.J., Baird, D.A., Humpheys, D.A., Robinson E.A. (1990), *Química* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición

“La tabla periódica está relacionada directamente a la estructura electrónica de los elementos [...] Para los estudiantes de Química, el uso más importante de la tabla periódica estriba en la habilidad para acomodar y resumir la gran cantidad de química descriptiva que se encuentra en el primer curso. El estudiante debe tratar de asociar toda la información química posible con la tabla y con la sólida armazón de la química que ella representa. [...] Entre los conceptos simples en química, el más importante y útil es indudablemente, la relación periódica de los elementos.[...] Es notable que la conformación de la tabla periódica se correlaciona perfectamente con los conceptos cuánticos de estructura atómica”. Slabaugh, W.H., Parsons, T.D. (1968), *Química general*, México, Limusa-Wiley S.A., 1ª edición

“La formulación de la tabla periódica estableció el comienzo de una nueva era para la química. Sirvió desde entonces para alcanzar una comprensión mucho más profunda de las propiedades de los elementos y todavía, hoy en día, constituye uno de los más importantes instrumentos de sistematización de que disponen los químicos”. Gillespie, R.J., Baird, D.A., Humpheys, D.A., Robinson E.A. (1990), *Química* (2 tomos), Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición

“La tabla periódica correlaciona el comportamiento químico de los elementos en forma sistemática y ayuda a recordar y entender.” Chang, R. (1992), *Química*, México, Mc Graw Hill, 4ª edición

“La tabla periódica nos ayudará a correlacionar, recordar y pronosticar la química detallada de los elementos.” Mahan, B.H. (1977), *Química, Curso universitario*, México, Fondo educativo interamericano S.A., 3ª edición en inglés, 2ª en castellano

“...probablemente esté familiarizado con el modo de organizar las propiedades de los elementos. Se realiza mediante el sistema periódico de los elementos y dice: 1) las filas horizontales se llaman períodos y 2) las columnas, grupos. [...] Los científicos tienden constantemente a agrupar los hechos de tal manera que sean más aparentes sus diferencias o sus similitudes. En química, el instrumento más útil para este fin es el sistema periódico de los elementos”. Masterton, W., Slowinski, E., Stanitski, C. (1990), *Química general superior*, Madrid, Mc Graw Hill – Interamericana, 6ª edición

En particular, Zumdahl, (1992) señala que:

“Cuando se enseña o se practica la química, casi siempre se emplea una tabla periódica que suele estar colgada en las paredes del salón de clases. En ella se indican todos los elementos conocidos y mucha información acerca de ellos. Al progresar en el estudio de la Química, la utilidad de esta tabla será más evidente.”

Sin embargo, la tabla periódica por sí misma no puede enseñarnos mayor cosa. Es necesario aprender a leerla y ponernos de acuerdo en cómo interpretar todo lo simbólico que hay allí.

3.1. Relación entre estructura atómica y tabla periódica

La información recogida en las tablas 2 y 3 se ha resumido en la Tabla 8. El ordenamiento de los textos se ha hecho con base al orden de presentación de los temas de estructura atómica y tabla periódica.

Lo primero que permite observar la Tabla 8 es que los libros de texto presentan indistintamente las definiciones de Boyle, de Dalton y de Moseley, aunque muchos prefieren la definición de elemento como sustancia.

Así, encontramos ejemplos como:

“Un elemento es una clase de materia que consta de átomos cuyos núcleos tienen todos la misma carga eléctrica.[...] Una sustancia elemental es la formada exclusivamente por átomos de un solo elemento y normalmente se da el nombre de elemento a tal sustancia”. Pauling, L. (1980), Química General, Madrid, Aguilar, 10ª edición, 1ª reimpresión

Otros que definen elemento en función de sus isótopos:

“Todos los núclidos con una determinada carga nuclear pertenecen al mismo lugar (casilla) del sistema y constituyen, en conjunto, un elemento”. Christen, H.R. (1977), Fundamentos de la química general e inorgánica, Barcelona, Reverté S.A., 1ª edición.

Estos núclidos ocupantes de una misma casilla de la tabla periódica, que tienen las mismas propiedades químicas pero que se diferencian en su peso atómico y en la estabilidad de su núcleo, a que hace referencia esta definición, fueron denominados “isótopos” (que están en un mismo sitio), por Soddy en 1913 (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Por otra parte, es posible explicar por qué aunque la Ley periódica de Mendeleiev, basada en los pesos atómicos haya variado, y que la nueva ley periódica deba formularse como: *“Las propiedades químicas de los elementos son una función periódica de sus números atómicos.”* (Conant, 1928), el formato de la tabla periódica actual se conserve bastante parecido al original. La razón estriba en algo que el mismo Mendeleiev intuía, aunque no tenía en su momento la manera de demostrarlo experimentalmente. *“La variación periódica de los cuerpos simples y compuestos está subordinada a una ley en la naturaleza, pero, por lo menos su causa, no puede aclararse actualmente. Es probable que ella resida en los principios fundamentales de la mecánica interna de los átomos y las moléculas”.*

Ciertamente, tal como Mendeleiev lo presentía: *“la ley tiene que ver esencialmente con las propiedades del átomo, y ya que las propiedades del átomo están determinadas por la estructura atómica, estas pueden explicar al menos el por qué de la ley periódica.”* (Ebel, 1938). Esta confirmación de que las propiedades observadas macroscópicamente en las sustancias simples son consecuencia de la estructura atómica, aparece repetidamente en la literatura científica.

	EA - TP	TP+EA	TP - EA	Historia	Poca	No historia	sustancia	Sustancia .pura	No la nombran	Elemento como Sustancia	E como átomos idénticos	E determinado por Z	No definen elemento	Parte de la historia	De la configuración electrónica	Propiedades de las sustancias	A bloque principal, B metales, C gases nobles	A los primeros, B los últimos	1 - 18	Clasificación por bloques	Sólo BP o no especifican
1	X			x				x		1º	2º				X		x				
2	X				x			X		x				1º	2º	x					
4	X				x			X	1º	2º				x			X				
8	X			x				x	X					1º	2º	x					
10	X				X			x				X		x		x					
11	X				X			x				X		x			x				
12	X				x			x					X	x		x					
13	X			x				x					X		2º	1º		x			
14	X				x			X	x					1º	2º					x	x
18	X				x			X	X					2º	1º	x					
20	X			x				X	X					2º	3º	1º					x
22	X			x				X	X					1º	2º		X				
24	X					x		X	X					2º	1º	x					
26	X					x		X					x	1º	2º						x
3		X				x		X					x		X						x
9		X				x	x				1º	2º		2º	1º					x	
15		X		x				X	X						x		x				
16		X			x				x	X				2º	1º						x
17		X				x		x		X					x						x
19		X			x				X		X				x						x
25		X		x				X	1º	2º	3º					x					x
27		X			x				x		x			2º	1º		x				
5			X	x				X		X				1º	2º	X					
6			X	x			x			X				x				x			
21			X	x				X	1º	2º					2º	1º			x		
23			X	x			X		X					1º		X			x		
7			X		x			x					X		x					x	

Tabla 8

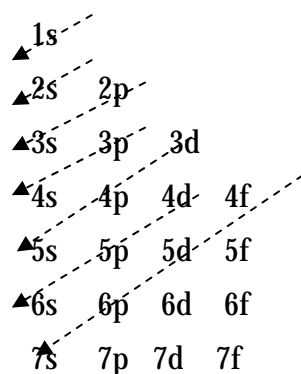
Por ejemplo Luder (1943), refiriéndose a los distintos formatos propuestos a partir del de Mendeleiev, manifestaba que:

“Los defensores de la tabla larga aducen que esta es la forma moderna de la tabla periódica, sin embargo, esta es poco moderna ya que el mismo Mendeleiev la propuso en 1872. [...] La tabla de la estructura atómica hace mucho más que eliminar los defectos obvios de las de Mendeleiev, porque está hecha sobre la base fundamental, la configuración electrónica.”

Por su parte, como ya lo hemos comentado, Foster (1939) insistía en que:

“La ley periódica, una de las mayores generalizaciones de la ciencia, debe ser uno de los tópicos principales, pero sólo introduciéndola a través de su relación con la estructura atómica puede volverse vital y estimulante para los estudiantes...”

Si se tienen en cuenta las distribuciones electrónicas, realizadas de acuerdo con las reglas de Hund y el principio de aufbau:



es posible reproducir la tabla periódica e inferir cuántos elementos debe haber en cada período, sabiendo que cada uno de ellos comienza con el llenado de un nuevo nivel de energía aún sin conocer nada acerca del comportamiento químico de las sustancias. (Wiswesser, 1945a)

Período	Orbitales que se ocupan	# de orbitales disponibles	# de elementos en el
1	1s	1 s = 1	2
2	2s, 2p	1 s + 3 p = 4	8
3	3s, 3p*	1 s + 3 p = 4	8
4	4s, 3d, 4p*	1 s + 5 d + 3 p = 9	18

5	5s, 4d, 5p*	1 s + 5 d + 3 p = 9	18
6	6s, 4f, 5d, 6p*	1 s + 7 f + 5 d + 3 p = 16	32
7	7s, 5f, 6d, 7p*	1 s + 7 f + 5 d + 3 p = 16	32

*(para llenar los orbitales nd hay que haber llenado primero el (n + 1) s, y entonces ya nos encontraríamos en el siguiente período, similarmente el subnivel nf sólo puede llenarse después del (n +2)s).

Así se explican además las observaciones de Rydberg (Wiswesser, 1945b) en sus estudios de los armónicos espectroscópicos que revelaban la siguiente secuencia para los números atómicos, Z, de los gases nobles que definen el patrón del sistema periódico:

$$Z = 2(1 + 2^2 + 2^2 + 3^2 + 3^2 + 4^2 + \dots)$$

Esta secuencia origina los números 2, 10, 18, 36, 54 y 86 correspondientes a los gases nobles y además, la diferencia entre ellos justifica el número de elementos en cada período.

Efectivamente, ningún otro formato de los cientos propuestos a lo largo de todo el siglo XX (Mazurs, 1974) puede relacionar de manera mejor las propiedades de las sustancias macroscópicas con la base fundamental de su explicación en el mundo microscópico de los átomos, como la tabla periódica originada en la de Mendeleiev (Fernelius y Powell, 1982). No obstante, hay que ser cuidadosos con el uso de estos dos niveles de lenguaje, pues su uso alternado e indiscriminado, como ya se ha mostrado repetidamente en este trabajo, es fuente de grandes confusiones (Pacault, 1994).

La tabla 8 muestra que aquellos textos que presentan la tabla periódica antes que estructura atómica incluyen algo de historia en su presentación. De hecho, todos menos uno acceden desde la historia o desde las propiedades de las sustancias, de manera similar a como se originó inicialmente la tabla periódica, y definen elemento como “sustancia que no puede descomponerse en otras” que, como ya hemos dicho, es la definición más antigua de elemento. Por el contrario, aquellos textos que presentan los conceptos de estructura atómica antes que la tabla periódica carecen, en general, de un recuento histórico, o lo

hacen de forma muy breve. Esta correlación entre el Camino de acceso a la tabla periódica y la relevancia de la historia en esta introducción se ve de manera más clara en la Tabla 17.

3.2. Caminos de acceso: Historia – Configuración electrónica – Propiedades de las sustancias

En 1940 King y Fall, opinaban que:

“En un curso elemental de química, la radiactividad y la tabla periódica sirven como una excelente introducción para el estudio de la teoría atómica moderna.”

sugiriendo así un camino histórico dentro del curso de química general, ya que efectivamente, tanto la tabla periódica como los estudios sobre la radiactividad, constituyeron aportes valiosísimos para la construcción de la teoría atómica que hoy conocemos.

El mismo Mendeleiev vaticinó en sus *Principios*:

“La ley periódica prepara, en una palabra, el terreno para la edificación de la mecánica atómica y molecular”.

Esa ordenación de los elementos, como bien sabemos, surgió de un laborioso trabajo de años, que “Mendeleiev plasmó en una Ley General que organiza a la Química en su conjunto” (Izquierdo, 2002). Por esto, para que los estudiantes comprendan el profundo significado de la tabla periódica y esta no se convierta en “algo que está en el libro y que se refiere a unos ‘números’ que se han de aprender”(Izquierdo, 2002), se hace necesario incluir un breve recuento histórico en los cursos de química que permita entender la evolución de modelos y de los conocimientos científicos que se tienen en la actualidad.

Sin embargo, como reflexiona Longo (1974) en su *Química general*:

“No siempre es tan práctico como interesante seguir el desarrollo histórico y cronológico de la química. Como muchos estudios se realizaron simultáneamente, su mutua influencia es complicada...”

Buscando resolver el inconveniente planteado por Longo, en la sección de propuestas e innovaciones presentaremos una forma sencilla de agrupar hechos y estudios que se han desarrollado en forma simultánea.

De otro lado, acabamos de ver como hay otros (Ebel, 1938, Foster, 1939) que han propuesto, desde que se estableció la relación entre la tabla periódica y la estructura atómica, que el estudio de la tabla periódica se haga a partir de las configuraciones electrones.

Y, finalmente, hay autores que siguen la ruta de Mendeleiev, para llegar a la tabla a partir del estudio de las propiedades de las sustancias.

La Tabla 9 muestra tres grandes bloques correspondientes a los tres Caminos de acceso a la presentación de la tabla periódica.

El primer bloque corresponde a aquellos textos que acceden a través de un Camino Sustancialista. El libro *“Principios”* de Dimitri Mendeleiev es el ejemplo paradigmático de lo que significa llegar a la clasificación periódica a través del estudio de las sustancias, relacionándolo con los elementos y los átomos. Esta forma de llegar a la periodicidad es similar a la que condujo a la formulación de la ley periódica, por tanto, como puede observarse, excepto uno, todos incluyen un recuento histórico y, en general, se refieren a las sustancias como “sustancias puras” y consideran que elemento es sinónimo de sustancia que no se puede descomponer.

El segundo bloque corresponde a aquellos textos que abordan la tabla periódica desde la historia. Este grupo de textos, como el anterior, prefiere la definición de elemento como sustancia y a esta, por su parte, la denominan “sustancia pura”. Casi todos manifiestan un estilo magistral, con una clara intención de que el lector aprenda en vez de memorizar. El libro *Química general moderna* de Babor e Ibarz Aznárez (1974), es un buen representante del que hemos llamado Camino Histórico.

..

	EA - TP	TP+EA	TP - EA	Historia	Poca	No historia	sustancia	Sustancia .pura	No la nombran	Elemento como Sustancia	E como átomos idénticos	E determinado por Z	No definen elemento	Parte de la historia	De la configuración electrónica	Propiedades de las sustancias	A bloque principal, B metales	A los primeros, B los últimos	1 - 18	Clasificación por bloques	Sólo BP o no especifican
1	X			x					x		1º	2º			X			x			
13	X			x					x				X		2º	1º		x			
20	X			x				X		X				2º	3º	1º					x
25		X		x				X		1º	2º	3º				x					x
21			X	x				X		1º	2º				2º	1º			x		
24	X					x		X		X					2º	1º	x				
7			X		x			x					X			x					x
23			X	x			X			X				1º			X		x		
5			X	x				X		X				1º		2º	X				
14	X				x			X		x				1º		2º				x	x
8	X			x					x	X				1º	2º		x				
22	X			x				X		X				1º	2º		X				
6			X	x			x			X				x				x			
26	X					x			X				x	1º	2º						x
2	X				x			X			x			1º	2º		x				
15		X		x				X		X					x		x				
4	X				x				X	1º	2º				x			X			
10	X				X			x				X			x		x				
11	X				X				x			X			x			x			
12	X				x				x				X		x		x				
18	X				x			X		X				2º	1º		x				
16		X			x				x	X				2º	1º						x
19		X			x				X		X				x						x
27		X			x				x		x			2º	1º		x				
17		X				x		x		X					x						x
3		X				x		X					x		X						x
9		X				x	x				1º	2º		2º	1º					x	

Tabla 9

El tercer bloque está conformado por los libros que parten de la configuración electrónica para explicar la tabla periódica. Todo ellos presentan, como es de suponer, los conceptos de estructura atómica antes de la tabla periódica, ya sea en un capítulo aparte o en el mismo capítulo. A diferencia de los dos bloques anteriores, estos textos presentan poca o ninguna historia y en algunos, se percibe un discurso apodíctico e impersonal. La definición de sustancia no es un factor predominante en estos textos, y la definición de elemento varía de un texto a otro, aunque los dos únicos que lo definen por su número atómico están en este grupo. “*The periodic table of the elements*” de R.J. Puddephatt y P.K.Monaghan, (1990) es un de lo que hemos denominado Camino Cuanto mecánico Atomicista, es decir, a través de la estructura electrónica de los átomos.

3.3.Denominación de los grupos

La Tabla 9 también permite ver que a pesar de que la IUPAC hace ya muchos años introdujo la numeración arábica del 1 al 18 para los grupos de la tabla periódica (Loening, 1984), sólo dos de los 27 textos hacen alusión a ella. La clasificación preferida por los textos que siguen un Camino Histórico parece seguir siendo la de los bloques A y B, el primero para el bloque principal y el segundo para los metales de transición. En cuanto a aquellos que siguen un Camino Cuanto mecánico Atomicista se observan dos grandes tendencias, los que tienen un capítulo dedicado a la tabla periódica y propiedades periódicas, suelen presentar la tabla larga y nombrar los grupos A y B para el bloque principal y los metales de transición respectivamente. En cambio, aquellos que presentan la tabla periódica junto con el capítulo de estructura atómica prefieren formatos más simples, como el de bloques s, p, d, f, o simplemente, la forma corta de la tabla.

La denominación A para los ocho primeros grupos y B para los segundos, es típicamente europea. Por esa razón la encontramos en los textos 4, 6 y 11, correspondientes respectivamente a un francés, un español y un alemán. Los textos 1 y 13 son de Linus Pauling quien, a pesar de haber nacido y estudiado gran parte de sus años en Norteamérica, también pasó un tiempo estudiando en Europa entre 1926 y 1927, cuando las teorías

mecánico cuánticas comenzaban a florecer. Esto explica el por qué de la denominación de los grupos al estilo europeo en sus libros de texto, en vez del utilizado en su tierra natal¹.

Un estudio hecho con 195 libros de textos publicados entre 1931 y 1981 mostró que el formato de tabla periódica preferido es el de la tabla larga que denomina los elementos del bloque principal A y a los metales de transición, B (Fernelius, y Powell, 1982).

3.4. Relación entre el camino de acceso y las propiedades estudiadas

La información correspondiente a las propiedades atómicas y a otras propiedades de las sustancias simples discutidas en los libros revisados, recogida en las Tablas 4 a 7, está resumida en la tabla 10. Esta tabla muestra las propiedades estudiadas según el Camino seguido por el autor.

Lo primero que llama la atención es que la polarizabilidad que, como ya se ha discutido anteriormente, juega un papel tan importante en la explicación del enlace como la electronegatividad, en particular en lo que respecta a la transición del carácter iónico hacia el carácter covalente, sólo es tratado junto con las otras propiedades en el texto 15. Los otros once textos que la mencionan lo hacen en otros capítulos, como el de enlace o, en general, en lo referente a fuerzas de dispersión. En cambio, el radio, la energía de ionización y la afinidad electrónica están presentes de manera mayoritaria.

Una inconsistencia que se observa en los libros revisados es el signo de la afinidad electrónica. Como puede observarse, aún hay muchos que consideran positiva una afinidad electrónica alta, contraviniendo las convenciones de la termodinámica y causando más confusiones a los jóvenes lectores.

Los textos que siguen un Camino Sustancialista tratan solamente el radio y la energía de ionización en el capítulo de tabla periódica, muy pocos aluden a la carga nuclear efectiva.

¹ (<http://lpi.oregonstate.edu/lpbio/lpbio2.html>).

La electronegatividad aparece preferiblemente en el capítulo de enlace al igual que la afinidad electrónica, y esta última, algunas veces ni siquiera aparece en todo el libro.

Los libros que acceden a través de un Camino Histórico incluyen la afinidad electrónica en la discusión de la periodicidad, pero todos menos uno, le colocan signo positivo aunque algunos aclaren que es una energía liberada. La carga nuclear efectiva es mencionada como un factor determinante de las otras, pero sin hacer ningún tipo de cálculo. La electronegatividad es tratada en otro capítulo y la polarizabilidad aparece en uno de cada dos libros de este grupo, pero siempre en un capítulo distinto al de tabla periódica. Este conjunto de textos presenta una gran variedad de propiedades de la sustancia simple en prácticamente todos los libros.

Los libros que siguen un Camino Cuánto-mecánico Atomicista presentan, en general, todas las propiedades atómicas junto con la tabla periódica, excepto, como ya lo hemos anotado, la polarizabilidad. Como en el grupo anterior, prácticamente todos discuten adicionalmente alguna o varias propiedades de las sustancias simples. La casi totalidad de los textos de este grupo que discuten la carga nuclear efectiva, aunque sea cualitativamente, utilizan la convención termodinámica de representar la energía liberada correspondiente a la afinidad electrónica con signo negativo, (cinco de los siete textos que utilizan esta convención, corresponden a este grupo). Mientras que, por el contrario, los textos que no se refieren a la carga nuclear efectiva, la representan como una cantidad positiva o no la mencionan. Esta correlación podría analizarse más profundamente en el futuro, ya que puede deberse al área de formación profesional del autor. En general, la tendencia a hacer énfasis en los cálculos de carga nuclear efectiva o en cálculos que incluyan la afinidad electrónica, como por ejemplo, el ciclo de Born-Haber, es más marcada en el área de Química Inorgánica y en Fisicoquímica.

3.5. Relación de las propiedades con la Z^*

La relación entre la presentación y cálculo de la carga nuclear efectiva y las demás propiedades atómicas se resumió en la tabla 11.

Propiedades	Z*	Calculan Z* por Slater	Calculan Z* de alguna manera	Nombra Z* pero sin cálculos	r	Radio atómico	Radio iónico	Volumen atómico	I	AE	AE con signo negativo	AE con signo positivo	polarizabilidad	electronegatividad	propiedades met. o no metálicas	punto de fusión	punto de ebullición	densidad	estado de oxidación (valencia)	conductividad eléctrica	conductividad térmica	dureza	índice de refracción	energía libre de formación	carácter del enlace	resistencia eléctrica	oxidantes y reductores	acidez y basicidad	comportamiento magnético	entalpías de cambios de estado	compuestos típicos	espectros	
1					x			x	xx	xx				xx	x					x													
13	x			x					x	xx		x	xx	xx				x														x	
20	x		x		x	x			x					xx	x																	x	
25					x	x			x					xx	x																		
21	x		x		x	x			x	x		x	xx	xx					x													x	
24					x	x	x		x	x	x			x	x																		
7														x	x					x							x						
23	x			x	x	x	x		x	x	x		xx	xx	x	x	x	x			x	x										x	
5					x	x			x	x		x		xx	x	x	x																x
14	x			x	x	x			x	x						x	x	x	x														
8	x		x		x	x			x	x		x		xx	x					x							x						
22	x			x	x	x			x	x		x	xx	xx		x	x	x			x	x	x										
26					x	x	x		x	x		x	xx	x	x																		
2	x			x	x			x	x	x		x	xx	x		x	x	x	x														
6					xx	x			x					xx																			
4	x	x			x	x			x	x		x	xx	x		x				x						x							
17	x		x		x	x	x		x	x	x		xx	xx																			
3	x			x	x	x			x	x	x					x	x								x								
11	x			x	x	x	x		x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x			x
12	x			x	x	x			x	x		x		x	x					x	x												
15	x			x	x	x	x		x	x	x		x	xx	x					x													
19	x			x	x	x	x		x	x	x		xx	x		x	x	x															
9					x			x	xx	xx		x	xx	xx		x	x	x															
10					x	x	x		x	x		x		x	x						x												
18					x	x			x	x		x		x		x	x																
27					x	x	x		x	x		x	xx	xx																			
16									x					x	x																		

Tabla 10 xx en otro capítulo

La carga nuclear efectiva es mencionada sólo en la mitad de los libros consultados pero únicamente cinco de ellos la calculan de alguna manera. Esto conlleva a que la explicación de algunas variaciones, como la contracción del radio a lo largo de los períodos, se base

más en un “dogma de fe” que en un modelo matemático que sustenta las observaciones científicas. (Waldrom et al., 2001).

Con excepción de dos de ellos, todos los textos que comentan sobre la carga nuclear efectiva incluyen además algunas otras propiedades de las sustancias simples, ejemplificando así ampliamente la periodicidad de los comportamientos a lo largo y ancho de la tabla periódica

Sin embargo, contrario a una de las hipótesis de este trabajo, según la cual el estudio y cálculo de la carga nuclear efectiva facilitaría la explicación de las otras propiedades atómicas, los resultados muestran que las mismas propiedades son estudiadas con o sin el requisito de la carga nuclear efectiva. La única relación encontrada es, como se anotó en la discusión anterior, que todos los textos que utilizan la convención de denotar una afinidad electrónica alta mediante el signo negativo (excepto uno) mencionan la carga nuclear efectiva. No obstante, no todos los libros que hablan de carga nuclear efectiva utilizan esta convención.

Tampoco existe una relación evidente entre el Camino de acceso al estudio de la tabla periódica y la consideración de la carga nuclear efectiva como factor relevante para el estudio de la variación de las propiedades atómicas.

De otro lado, son muy pocos los libros que se refieren a propiedades de las sustancias, y las únicas propiedades nombradas son los puntos de fusión o de ebullición, o la densidad.

Al parecer, los cuatro aspectos de la materia que Mendeleiev consideró para llegar a su ley y que representaban para él propiedades medibles de los elementos y sus compuestos: (1) el isomorfismo, (2) la relación de los volúmenes específicos, (3) la composición de sales y (4) las relaciones de los pesos atómicos de los elementos Singman (1984), han desaparecido en el estudio de la periodicidad en los programas y textos de química de nuestros tiempos.

	Propiedades	Calculan Z^* por Slater	Calculan Z^* de alguna manera	Nombra Z^* pero sin cálculos	Radio atómico	Radio iónico	Volumen atómico	AE con signo negativo	AE con signo positivo	polarizabilidad	electronegatividad	propiedades met. o no metálicas	punto de fusión	punto de ebullición	densidad	estado de oxidación (valencia)	conductividad eléctrica	conductividad térmica	dureza	índice de refracción	energía libre de formación	carácter del enlace	resistencia eléctrica	oxidantes y reductores	acidez y basicidad	comportamiento magnético	entalpías de cambios de estado	compuestos típicos	espectros
4	x	x		x	x		x		x	Ex	x		x			x					x								
6	x		x	x	x		x		x		xx	x				x							x						
17	x		x	x	x	x	x			xx	xx																		
20	x		x	x	x		x				xx	x																	
21	x		x	x	x		x		x	xx	xx					x											x		
41	x			x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x		x	
42	x			x	x		x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x										
2	x			x	x		x		x	xx	x		x	x	x	x													
19	x			x	x	x	x		x	xx	x		x	x	x	x													
15	x			x	x	x	x		x	x	xx	x				x													
22	x			x	x		x		x	xx	xx		x	x	x	x	x	x	x										
13	x			x			x		x	xx	xx		x	x	x												x		
23	x			x	x	x	x		x	xx	xx	x	x	x	x		xx									x			
3	x			x	x		x		x				x	x							x		x						
14	x			x	x		x		x				x	x	x	x													
24				x	x	x	x	x			x	x																	
10				x	x	x	x		x		x	x					x												
18				x	x		x		x		x	x	x	x		x													
5				x	x		x		x		xx	x	x	x													x		
26				x	x	x	x		x	xx	x	x																	
27				x	x	x	x		x	xx	xx																		
1				x			x	xx	xx		xx	x					x												
9				x			x	xx	xx		xx		x	x	x														
25				x	x		x				xx	x																	
6				xx	x		x				xx																		
16							x				x	x																	
7											x	x				x								x					

Tabla 11 xx: en otro capítulo

En síntesis:

Los resultados de esta revisión nos muestran que el panorama con que se encuentran estudiantes y profesores en una biblioteca universitaria, si desean estudiar la tabla periódica a nivel de Química General, está constituido por tres grandes tipos de textos caracterizados por la manera de acceder a ella.

Los que parten de las propiedades de las sustancias:

“La gran diversidad de comportamientos que se observan entre los elementos y sus compuestos debió constituir un auténtico quebradero de cabeza para los primeros químicos, como debe parecerse en ocasiones a los estudiantes que comienzan un curso de química [...] Los distintos intentos que se hicieron para clasificar los elementos en función de las semejanzas y diferencias existentes entre sus propiedades, culminaron en 1869 con la formulación de la “ley periódica” reflejada en forma de “tabla o sistema periódico” por Dimitri Mendeleiev”.
Libro 21

Estos textos se caracterizan, como su nombre lo indica, por resaltar propiedades de las sustancias, tanto simples como compuestas, por incluir un recuento histórico, referirse a las sustancias como “sustancias puras” y considerar que elemento es sinónimo de sustancia que no se puede descomponer. En cuanto a propiedades atómicas, en general solamente el radio y la energía de ionización aparecen en el capítulo de tabla periódica y muy pocos nombran la carga nuclear efectiva. La electronegatividad y la afinidad electrónica se discuten preferiblemente en el capítulo de enlace.

Los que parten de la historia:

“Hay que estudiar los hechos que antecedieron a la teoría que conocemos, pues lo contrario sería empezar a construir la casa por el tejado”
Libro 2

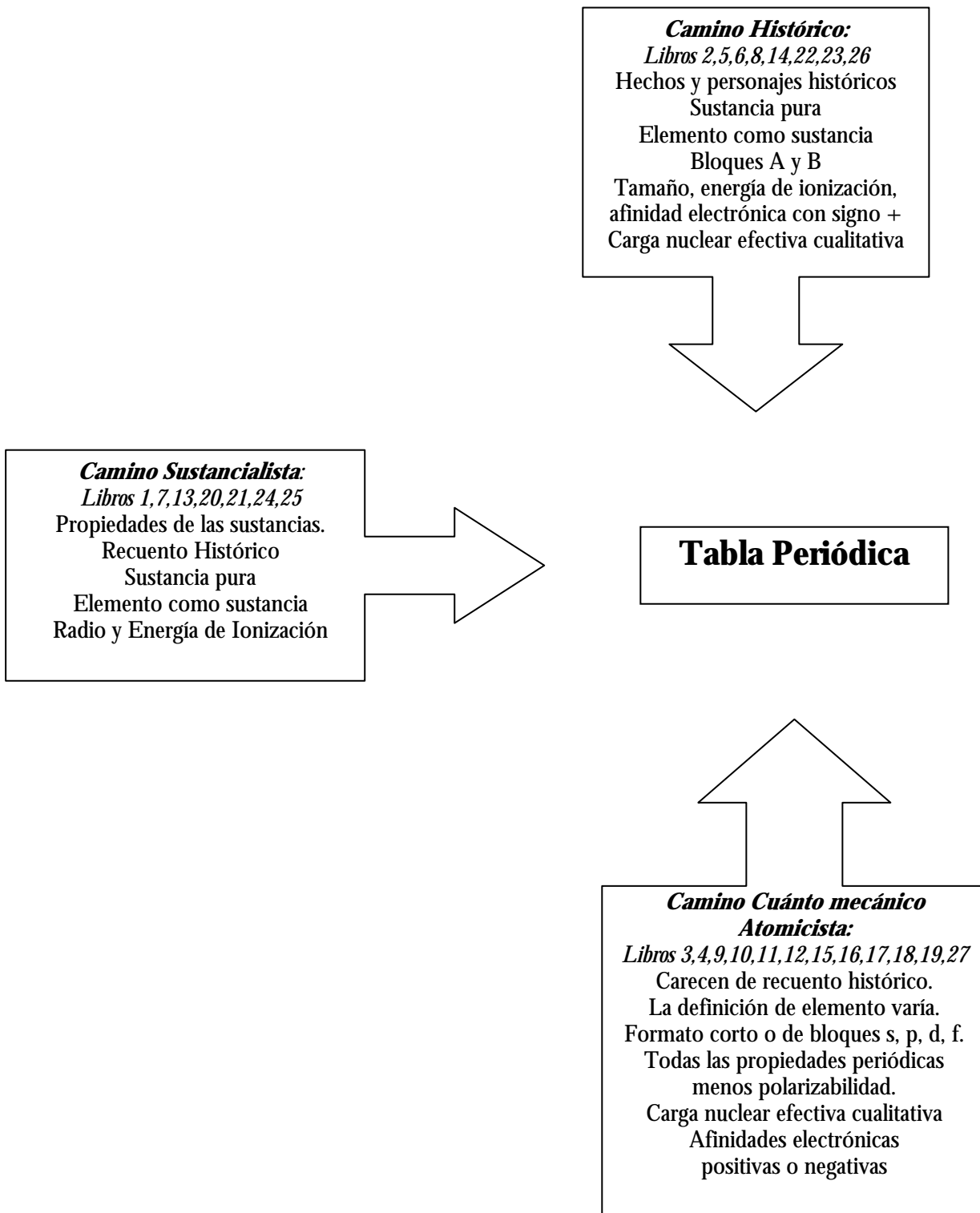
Estos libros se caracterizan por dedicarle un espacio a los hechos y personajes que se destacaron hasta llegar a la formulación de la ley periódica. La definición preferida de elemento, como los anteriores, es la de sustancia que no se puede descomponer y a esta, por su parte, la denominan “sustancia pura”. La clasificación preferida para los grupos de la

tabla periódica es la de los bloques A y B, el primero para el bloque principal y el segundo para los metales de transición. Respecto a las propiedades periódicas, además del tamaño atómico y la energía de ionización, incluyen la afinidad electrónica en la discusión de la periodicidad pero, a pesar de aclarar que se trata de una energía liberada, todos menos uno, le colocan signo positivo. La carga nuclear efectiva es mencionada como un factor determinante de las demás, pero sólo se refieren a ella de un modo cualitativo. Tanto la electronegatividad como la polarizabilidad, cuando la tratan, aparecen en un capítulo diferente al de tabla periódica. En general, todos comentan una o más propiedades de la sustancia simple.

Los que acceden a través de la configuración electrónica:

“Si ordenamos los elementos según el orden de llenado de sus orbitales atómicos, de menor a mayor energía, obtenemos una representación esquemática como la de la figura..(la Tabla Periódica)...la estructura electrónica de los elementos varía periódicamente”.
Libro 9

Todos estos textos que presentan los conceptos de estructura atómica antes que la tabla periódica carecen, en general, de un recuento histórico, o lo hacen de forma muy breve. La definición de sustancia no es relevante y es posible encontrar cualquiera de las tres definiciones de elemento comúnmente presentes en los libros de texto. La numeración de los grupos de la tabla periódica depende de si la tabla periódica está en un capítulo conjunto con estructura atómica o no. En el primer caso, prefieren formatos más simples, como el de bloques s, p, d, f, o simplemente, la forma corta de la tabla. En caso de que la tabla sea tratada en un capítulo aparte, suelen presentar la tabla larga y nombrar los grupos A y B para el bloque principal y los metales de transición respectivamente. Suelen presentar todas las propiedades atómicas junto con la tabla periódica, excepto la polarizabilidad que, cuando la discuten, lo hacen en otro capítulo. Casi todos tratan la carga nuclear efectiva, aunque sea cualitativamente y en cuanto a las afinidades electrónicas, no hay una única convención de signo para representar una gran energía liberada. Como en el grupo anterior, prácticamente todos discuten adicionalmente alguna o varias propiedades de las sustancias simples.



Capítulo 6

El saber enseñado

1. Introducción

La investigación con los profesores se realizó, como ya se explicó detalladamente en la metodología, en varias etapas y con varios instrumentos y estrategias. Para facilitar el seguimiento del análisis y discusión de los datos y resultados obtenidos, hemos dividido este capítulo en cinco secciones.

- I. Un primer acercamiento: El cuestionario sobre tabla periódica.
- II. Hacia la determinación de la FUNCIÓN de la tabla periódica en los cursos de Química General: Primera Entrevista sobre tabla periódica.
- III. Hacia la determinación de la VISIÓN de elemento químico: Segunda entrevista sobre tabla periódica.
- IV. La ANALOGÍA como herramienta didáctica en la enseñanza de la tabla periódica: Entrevista y cuestionario sobre el uso de las analogías.
- V. La emergencia de los PERFILES.

Sección I: Un primer acercamiento

1. Cuestionario sobre tabla periódica

El primer acercamiento para conocer las ideas de los profesores y profesoras acerca de la enseñanza de la tabla periódica y de los conceptos relacionados con ella en los primeros cursos de la universidad fue un cuestionario semiabierto, al que denominamos Instrumento #1.

Los docentes P1, P9, P10, P11 y P12 diligenciaron el cuestionario entre los meses de junio y julio del 2001. Los demás profesores del Departamento de Química de la Universidad del Valle lo hicieron en los meses de febrero y marzo del 2002, en la misma época en que se les entrevistó por primera vez. Los profesores de la Universidad Autónoma de Barcelona, desarrollaron el cuestionario y la primera entrevista en diciembre de 2002.

El cuestionario se analizó pregunta a pregunta. Sin embargo, puesto que muchas de estas preguntas fueron repetidas personalmente durante la primera entrevista, dejaremos la discusión para la siguiente sección.

Los resultados de esta primera fase de la investigación con los profesores fueron los siguientes:

En las siguientes preguntas señale la opción con la cuál usted se identifica:

- 1.- De las siguientes definiciones de elemento químico ¿cuál es la primera que enseña a sus estudiantes de Química General y/o Química Inorgánica General?
 - a.- un elemento es una sustancia pura que no puede descomponerse en otras más simples por métodos químicos _____
 - b.- un elemento está constituido por átomos idénticos _____
 - c.- un elemento está definido por su número atómico _____

	P1	P2*	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Lo enseña por primera vez como:														
Sustancia que no puede descomponerse	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x		x
Formado por átomos iguales		x												
Definido por Z			x			x				x			x	

Tabla 1 *P2, ha intentado ambas.

2.- De las tres: ¿cuál considera usted más correcta?

- un elemento es una sustancia pura que no puede descomponerse en otras más simples por métodos químicos _____
- un elemento está constituido por átomos idénticos _____
- un elemento está definido por su número atómico _____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9*	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Define elemento como:								*						
Sustancia que no puede descomponerse	x				x		x	x						
Formado por átomos iguales		x		x						x	x	x		
Definido por Z			x			x		x	x				x	x

Tabla 2 **P9 añadió: "Para esta pregunta habría que definir dos cosas. Todas son correctas, por lo tanto hay que definir más correcta (¿?) respecto a qué. Por esta razón, marqué dos respuestas."

Las respuestas a las dos primeras preguntas se resumen en la Tabla 3. La pregunta 1 corresponde a la definición de elemento que el profesor considera más adecuada para ser utilizada con fines didácticos, mientras que la 2 corresponde a la definición que, como científico, cada uno considera correcta.

Como puede apreciarse en la Tabla 3, existe una marcada tendencia a definir elemento en clase, en primera instancia, como una sustancia que no puede descomponerse en otras. Esta tendencia puede deberse a la influencia de los libros que sirven de guía en los cursos generales de química. Como ya se analizó en el capítulo anterior, esta definición de elemento como sinónimo de sustancia es la preferida sobre todo por aquellos textos que acceden al estudio de la tabla periódica a través de un Camino Sustancialista o de un Camino Histórico.

Capítulo 6

	P1	P6	P8	P9	P10	P16	P7	P2*	P4	P12	P13	P11	P3	P15
Lo enseña por primera vez como:														
Sustancia que no puede descomponerse	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Formado por átomos iguales								x						
Definido por Z							x					x	x	x
Define elemento como:														
Sustancia que no puede descomponerse	x	x	x	x										
Formado por átomos iguales								x	x	x	x	x		
Definido por Z				x	x	x	x						x	x

Tabla 3 *P2, ha intentado ambas. **P9 añadió: “Para esta pregunta habría que definir dos cosas. Todas son correctas, por lo tanto hay que definir más correcta (¿?) respecto a qué. Por esta razón, marqué dos respuestas.”

No obstante, solamente cuatro profesores consideran que esta es la definición más adecuado para tal concepto. Los demás piensan que existe una definición “más correcta” que la que presentan por primera vez en sus clases. Esta discrepancia en las respuestas nos llevó a hacer un seguimiento de las ideas manifestadas por los docentes en los distintos momentos en que fueron consultados.

Como dijimos en el marco teórico, hemos llamado coherencia a la concordancia en las definiciones de los conceptos a lo largo del discurso de los profesores durante la investigación. La tabla 4 permite observar que en esta primera etapa y en lo que respecta a la definición de elemento, solamente P1, P6, P8 por una parte, y P3 y P15 por otra, mantienen una posición coherente. Todos los demás manifiestan una incoherencia entre lo que consideran más correcto y lo que dicen que enseñan por primera vez.

	P1	P6	P8	P9	P10	P16	P7	P2*	P4	P12	P13	P11	P3	P15
Lo enseña por primera vez como:														
Sustancia que no puede descomponerse	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Formado por átomos iguales								x						
Definido por Z							x					x	x	x
Define elemento como:														
Sustancia que no puede descomponerse	x	x	x	x										
Formado por átomos iguales								x	x	x	x	x		
Definido por Z				x	x	x	x						x	x

Tabla 4 *P2, ha intentado ambas. **P9 añadió: “Para esta pregunta habría que definir dos cosas. Todas son correctas, por lo tanto hay que definir más correcta (¿?) respecto a qué. Por esta razón, marqué dos respuestas.”

En las siguientes preguntas señale la opción con la cuál usted se identifica y justifique por favor su respuesta:

3.- ¿Considera usted necesario enseñar estructura atómica antes de abordar el tema de tabla periódica? SI _____ NO _____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
EA antes de TP														
Sí	x		x	x	x		x	x	x		x		x	
No		x				x				x		x		x

Tabla 5

Las razones aducidas por los profesores para justificar su respuestas se resumen a continuación y están condensadas en la tabla 6.

Sí

¿Por qué?

“Por su relación con las propiedades periódicas.” P1

“Permite un entendimiento mejor y más fácil de las propiedades periódicas.” P3

“Se requiere identificar los elementos para darles un orden.” P4

“En el estudio de la tabla periódica voy a recurrir a conceptos que he utilizado en la estructura atómica (Ejemplo: átomos, protones, electrones, etc., números cuánticos).” P6

“Da una comprensión más profunda y mejor de cómo y por qué la tabla está organizada como está.” P8

“Hay que definir primero el átomo para luego organizarlo.” P9

“Se puede explicar más racionalmente la tabla periódica.” P10

“Permite una visión más amplia.” P12

“Para enseñar tabla periódica necesito el concepto de carga eléctrica, y para esto el de distribución de probabilidad radial.” P15

En resumen:

- Por su relación con las propiedades periódicas. P1, P3
- Para ordenar los elementos (átomos). P4, P9
- Porque hay conceptos que se necesitan en tabla periódica. P6, P15
- Para entender la organización de la tabla. P8
- Explicar más racionalmente la tabla. P10
- Tener una visión más amplia. P12

No

¿Por qué?

“La tabla se puede considerar como una pieza empírica más del rompecabezas. El rompecabezas se arma con la teoría atómica. Enfoque experimento -> teoría.” P2

“Hablar de estructura atómica significa hablar de mecánica cuántica y la tabla periódica fue concebida para discutir propiedades sin necesidad de conocer estructuras.” P7

“La tabla periódica es lo macro, lo tangible y se puede llevar luego a lo intangible.” P11

“Es valioso realizar la metodología que pudo haber desarrollado el mismo Mendeleev y encontrar los vacíos y fortalezas de ese tema en esa época. Después se puede abordar la estructura atómica.” P13

“Porque haciendo un planteamiento histórico, como Mendeleiev, la ordenación de los elementos por ser su masa atómica, permite llegar a una tabla periódica muy próxima a la actual en base al número atómico.” P16

En resumen:

- La tabla periódica es empírica. P2
- La tabla se refiere a lo macro. P7, P11
- Es valioso seguir el proceso de Mendeliev. P13, P16

	P1	P3	P10	P12	P6	P15	P4	P9	P8	P2	P7	P11	P13	P16
EA antes de TP														
Sí	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
Por su relación con las propiedades periódicas.	x	x												
Explicar más racionalmente la tabla.			x											
Tener una visión más amplia.				x										
Porque hay conceptos que se necesitan en tabla periódica.					x	x								
Para ordenar los elementos (átomos)							x	x						
Para entender la organización de la tabla.									x					
No										x	x	x	x	x
La tabla periódica es empírica.										x				
La tabla se refiere a lo macro.											x	x		
Es valioso seguir el proceso de Mendeliev.													x	x

Tabla 6

La tabla 6 resume la posición y las razones expuestas por los profesores para considerar el estudio de la estructura atómica como un prerrequisito del estudio de la tabla periódica.

Quienes dicen que sí sugieren con sus justificaciones un Camino Cuánto-mecánico Atomicista (*“Da una comprensión más profunda y mejor de cómo y por qué la tabla está organizada como está...”* P8), según el cual la organización de los elementos en la tabla está estrechamente relacionada con su distribución electrónica, mientras que aquellos que no consideran indispensable este requisito exponen razones que sugieren un Camino Sustancialista (*“la tabla se refiere a lo macro...”* P11) o un Camino Histórico (*“Es valioso seguir el proceso de Mendeliev...”* P16).

Como en la pregunta anterior, las justificaciones dadas por los profesores fueron tabuladas.

4.-¿Acostumbra usted a hacer un recuento histórico de los principales hechos que llevaron a la Tabla Periódica? SI _____ NO _____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Recuento histórico														
Sí	x	x	x	x	x		x	x			x	x	x	x
No		x				x			x	x				

Tabla 7

Si

¿Por qué?

“Concientiza al estudiante de la importancia química de la tabla periódica.” P1

“He intentado ambas, dependiendo de si el enfoque es histórico o lógico.” P2

“La parte histórica es importante para ver el uso del método científico y el desarrollo (avance) de la Química.” P3

“Es importante conocer la historia porque permite relacionarse más con la identidad de cada elemento.”

P4

“Es importante conocer los hechos que se fueron descubriendo y las regularidades que presentan los elementos para su ubicación en la tabla periódica.” P6

“Da una idea de cómo el pensamiento y la comprensión de la tabla se llevó a cabo.” P8

“La parte histórica es fundamental para llegar al planteamiento final.” P9

“Ilustra el método científico.” P12

“Es de suma importancia conocer un poco las condiciones en que trabajaban los científicos de la época. El estudiante debe concientizarse de ello.” P13

“Creo que es bueno situar al alumno en la historia, y lo hago aunque el repaso sea rápido.” P15

“Porque para enseñar hay que motivar y dar un breve resumen de la historia, y de la personalidad de Mendeliev, es objetivamente interesante.” P16

En resumen:

- Concientiza de la importancia química de la tabla periódica. P1
- Ilustra el método científico. P3, P12
- Muestra el desarrollo de la química. P3, P6
- Permite relacionarse con la identidad de cada elemento. P4
- Ubica momento y causa de su formulación. P6, P8, P9
- Conocer las condiciones de la época. P13, P15
- Motivar al estudiante. P16
- He intentado ambas, dependiendo de si el enfoque es histórico o lógico. P2

No
¿Por qué?

“Trato de enviar a los estudiantes a las fuentes originales.” P7

“No lo considero indispensable, pero puede ayudar a la comprensión de la tabla periódica.” P10

	P1	P3	P12	P6	P8	P9	P4	P13	P15	P16	P2	P7	P10	P11
Recuento histórico														
Sí	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Concientiza de la importancia química de la tabla periódica.	x													
Ilustra el método científico.		x	x											
Muestra el desarrollo de la química		x		x										
Permite relacionarse con la identidad de cada elemento							x							
Ubica momento y causa de su formulación.				x	x	x								
Conocer las condiciones de la época.								x	x					
Motivar al estudiante.										x				
No											x	x	x	x
He intentado ambas											x			
Trato de enviar a los estudiantes a las fuentes originales.												x		
No lo considero indispensable, pero puede ayudar a la comprensión de la tabla periódica													x	

Tabla 8

De acuerdo con la tabla 8, todos los profesores consultados, menos P11 que no dio ninguna razón para su negativa, están de acuerdo con que la historia puede ayudar a la comprensión de la tabla periódica. Como puede observarse, incluso quienes respondieron que no hacen un recuento histórico aclaran que lo han intentado alguna vez o que han remitido a los estudiantes a las fuentes originales.

5.-¿Incluye algo de química descriptiva de las sustancias simples en sus cursos de química general?
SI ____ NO ____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Química descriptiva														
Sí				x	x		x		x	x	x	x		x
No	x	x	x			x		x					x	

Tabla 9

Sí

¿Por qué?

- “Es necesario dar su utilidad o su síntesis para que se vea su importancia.” P4*
- “Relaciona sustancias explicadas a nivel teórico con propiedades físicas reales con las que los estudiantes pueden relacionarse fácilmente.” P8*
- “Es la mejor forma (y quizás la única) de entender las propiedades de las sustancias.” P10*
- “Por la realidad que representan en la vida diaria. Fomenta y motiva.” P11*
- “Acercas a la realidad.” P12*
- “Aunque hay falta de tiempo es importante hacer énfasis sobre algunas propiedades y características.” P13*
- “Porque la química es una ciencia experimental.” P16*

En resumen:

- Para mostrar su importancia. P4
- Acerca a la realidad. P8, P11, P12
- Para entender las propiedades de las sustancias. P10, P13
- Porque la química es una ciencia experimental. P16

No

¿Por qué?

- “No explica la reactividad ni el comportamiento químico.” P1*
- “Propicia la memorización.” P1*
- “¡No está en el programa!” P2*
- “Cuestión de tiempo. Es muy breve la introducción. Este tema es más memoria.” P3*

Capítulo 6

“Típicamente tengo que cubrir demasiado material en poco tiempo.” P7

“Falta de tiempo.” P9

“Es que el primer curso no es Química General sino estructura atómica y enlace, y faltan horas.” P15

	P4	P6	P8	P11	P12	P10	P13	P16	P1	P3	P7	P9	P15	P2
Química descriptiva														
Sí	x	x	x	x	x	x	x	x						
Para mostrar su importancia.	x													
Acerca a la realidad			x	x	x									
Para entender las propiedades de las sustancias.						x	x							
Porque la química es una ciencia experimental.								x						
No									x	x	x	x	x	x
Propicia la memorización.									x	x				
Falta de tiempo.										x	x	x	x	
No explica reactividad ni comportamiento químico.									x					
No está en el programa.														x

Tabla 10

En resumen:

- Propicia la memorización. P1, P3
- Falta de tiempo. P3, P7, P9, P15
- No explica reactividad ni comportamiento químico. P1
- No está en el programa. P2

6.- Si su respuesta es afirmativa: ¿qué aspectos enfatiza?

Propiedades físicas_____ Reacciones_____ características_____

Usos _____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Propiedades físicas			x		X		X		X		X	x		
Reacciones					x		X		X	x	X			
Características			x				X		X	x	X			
Usos			x	x			x		x	x	x			

Tabla 11

¿Porqué?

- “Cuando lo hago, no incluyo las reacciones. Los otros temas, sí.” P3
 “Para que los identifiquen dentro de su vida cotidiana.” P4
 “Conociendo sus propiedades y reacciones puedo encontrar la mejor forma de utilizarlas.” P6
 “Depende de la sustancia y ejemplo.” P8
 “En química general sólo se puede explicar lo más característico del compuesto en cuestión. Ello puede ser una propiedad física, una aplicación, una determinada reacción... depende del caso.” P16

Química descriptiva	P8	P10	P12	P11	P3	P6	P4	P13	P1	P2	P7	P9	P15	P16
Propiedades físicas	X	X	X		x	X		x						
Reacciones	X	X	X	x		x								
Características	X	X	X	x	x									
Usos	x	x	x	x	x		x							

Tabla 12

En las siguientes preguntas señale la(s) opción(es) con la cuál(es) usted se identifica.

7.-¿Qué propiedades periódicas enseña usted en los cursos de química general?

Carga nuclear efectiva ____

radio ____

Energía de Ionización ____

Afinidad Electrónica ____

Polarizabilidad ____

Electronegatividad ____

Otra ____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Carga nuclear efectiva	X	X	X	X	X		X	X	X	x	X	X	X	
Radio	X	X	X	X	X	X	X	X	x	x	X	X	X	X
Energía de ionización	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Afinidad electrónica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Polarizabilidad	X	X		X	X	X	X		X	X	X			
Electronegatividad	X	X	X	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
otra	x	x	x											x

Tabla 13

Otra:

“Carácter metálico.” P1

“Configuración electrónica.” P2

“Propiedades magnéticas.” P3

“Potenciales redox, reacción de los óxidos con agua; carácter ácido-base de los óxidos e hidruros; metales y no metales...” P16

Capítulo 6

Propiedades periódicas	P1	P2	P4	P6	P8	P10	P11	P12	P3	P9	P13	P15	P7	P16
Carga nuclear efectiva	X	X	X	X	X	X	x	X	X	X	X	X		
Radio	X	X	X	X	X	x	x	X	X	X	X	X	X	X
Energía de ionización	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Afinidad electrónica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Polarizabilidad	X	X	X	X	X	X	X	X					X	
Electronegatividad	X	X	X	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	X
otra	x	x							x					x
Carácter metálico.	x													
Configuración electrónica.		x												
Propiedades magnéticas.									x					
Potenciales redox, reacción de los óxidos con agua; carácter ácido-base de los óxidos e hidruros; metales y no metales														x

Tabla 14

En las siguientes preguntas señale la opción con la cuál usted se identifica y justifique por favor su respuesta:

8.-¿Considera alguna de ellas particularmente importante para la mejor comprensión de las demás?

SI ____ NO ____

	P1	P2	P3	P4	P6	P8	P9	P11	P12	P13	P15	P7	P16	P10
Alguna en especial														
Si	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-		
No														x

Tabla 15 P7 y P16 no contestaron.

9.- ¿Cuál?:

Carga nuclear efectiva ____

radio _____

Energía de Ionización _____

Afinidad Electrónica _____

Polarizabilidad _____

Electronegatividad _____

Otra _____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Carga nuclear efectiva	x		x	x			x	x		x			x	
Radio					x							x		x
Energía de ionización						x					x			x
Afinidad electrónica						x								
Polarizabilidad														
Electronegatividad														x
Configuración electrónica		x												
Potenciales redox														x

Tabla 16

¿Por qué?

“Fundamentales para la reaccionabilidad.” P16

“Todas son igualmente importantes.” P10

Z*

“Por la interrelación con las demás propiedades.” P1

“El concepto de carga nuclear efectiva permite explicar las otras propiedades de una manera más fácil.” P3

“Su entendimiento permite un mejor manejo de las restantes.” P4

“Pone en evidencia el fenómeno que da lugar a las otras propiedades.” P8

“Permite visualizar mejor la periodicidad.” P9

“Permite racionalizar las tendencias.” P11

“Porque muchas de las variaciones de las propiedades periódicas dependen de la carga efectiva.” P15

En resumen:

Z*

- Por la interrelación con las demás propiedades. P1, P3, P4, P8, P15
- Permite visualizar la periodicidad y racionalizar las tendencias. P9, P11

Radio

- Considerando el radio puedo explicar fácilmente las otras propiedades, también teniendo en cuenta la configuración electrónica. P6
- Todas son importantes puesto que están ligadas unas con otras. Depende del profesor cuál escoja para poder ir analizando casi con tipo cascada la siguiente propiedad. Yo comenzaría con el radio atómico. P13

Energía de Ionización

- Se puede interrelacionar con Z* y otros conceptos. P12

Configuración electrónica

- Este concepto básico, aunque aproximado, da cuenta de todo. P2

Capítulo 6

¿cuál?	P1	P3	P4	P8	P15	P9	P11	P6	P13	P16	P12	P7	P2	P10
Carga nuclear efectiva	x	x	x	x	x	x	x							
Por la interrelación con las demás propiedades.	x	x	x	x	x									
Permite visualizar la periodicidad y racionalizar las tendencias.						x	x							
Radio								x	x	x				
Energía de ionización										x	x	x		
Se puede interrelacionar con Z^* y otros conceptos.											x			
Afinidad electrónica												x		
Electronegatividad										x				
Configuración electrónica													x	
Este concepto básico, aunque aproximado, da cuenta de todo													x	
Potenciales redox										x				

Tabla 17

10.-¿Acostumbra a hacer cálculos de carga nuclear efectiva en sus cursos de química general? Si ___
NO _____

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Calcula z^*														
Sí				x	x		x	x		x			x	
No	x	x	x			x			x		x	x		x

Tabla 18

Sí

¿Por qué?

“Aunque se hace con el modelo simple para que cuantitativamente relacionen el concepto.” P4

“Allí puedo calcular radios iónicos.” P6

“Ilustra mejor el concepto.” P8

“Aclara el concepto.” P9

“Aplican los conceptos y no hay desfase entre los conceptos y los cálculos.” P11

“Porque ver valores numéricos ayuda.” P15

En resumen:

- Ilustra mejor el concepto. P4, P8, P9, P11, P15
- Permite calcular radios iónicos. P6

No

¿Por qué?

“Falta de tiempo.” P1

“Mejor en química inorgánica.” P1

“Falta de tiempo para desarrollar otros temas.” P13

“Las reglas empíricas muy poco añaden a la comprensión y capacidad de uso de los conceptos. Química General debe ser un curso conceptual, no de cómputo.” P2

“Pienso que no le aportan mucho al entendimiento del tema. Procuero que los estudiantes entiendan el concepto básico.” P3

“El concepto de carga nuclear efectiva mezcla modelos clásicos de estructura atómica con cuánticos.” P7

“No es indispensable, sólo es importante el concepto.” P10

“Lo hice cualitativamente.” P12

“Creo que es más adecuado introducir este concepto en química inorgánica general.” P16

En resumen:

- Falta de tiempo: P1, P13
- Mejor en química inorgánica. P1, P16
- Química general debe ser un curso conceptual. P2
- Mezcla modelos clásico y cuántico. P7
- Sólo importa el concepto, cualitativo P3, P10, P12

	P4	P8	P9	P11	P15	P6	P1	P13	P16	P3	P10	P12	P2	P7
Calcula z*														
Sí	x	x	x	x	x	x								
Ilustra mejor el concepto.	x	x	x	x	x									
Permite calcular radios iónicos.						x								
No							x	x	x	x	x	x	x	x
Falta de tiempo:							x	x						
Mejor en química inorgánica.							x		x					
Química general debe ser un curso conceptual.													x	
Mezcla modelos clásico y cuántico.														x
Sólo importa el concepto, cualitativo										x	x	x		

Tabla 19

11.-Si su respuesta es afirmativa, ¿qué método utiliza?

Slater _____ Clementi y Raimondi _____ otro _____

Capítulo 6

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Slater				x	x		x	x		x			x	x
Clementi y Raimondi														
otro														

Tabla 20

¿Por qué?

“Es el más simple.” P4

“Es el que más se encuentra en los libros.” P6

“Es el más simple y se puede explicar con mayor facilidad ilustrando de manera clara el fenómeno.” P8

“Porque el cálculo es muy sencillo.” P15

En resumen:

El método más utilizado para calcular la carga nuclear efectiva es el de Slater porque:

- Es el más simple. P4, P8, P15
- Es el que más se encuentra en los libros. P6

¿qué método usa?	P4	P8	P15	P6	P9	P11	P16	P1	P2	P3	P7	P10	P12	P13
Slater	x	x	x	x	x	x	x							
Es el más simple.	x	x	x											
Es el que más se encuentra en los libros.				x										
Clementi y Raimondi														
otro														

Tabla 21

11.- La tabla periódica condensa en cada uno de sus recuadros una serie de información. De las 10 propiedades señaladas - con los números del 1 al 10 entre paréntesis- en el recuadro a continuación, ¿cuáles considera usted que corresponden al “elemento” y cuáles a la “sustancia simple”?

Propiedad

Sustancia

Elemento

- 1) símbolo
- 2) número atómico
- 3) radio
- 4) t ebullición
- 5) densidad
- 6) peso atómico
- 7) electronegatividad
- 8) calor de fusión
- 9) primera energía de ionización
- 10) estructura electrónica

1) Símbolo 2) Número atómico 3) radio 4) temperatura de ebullición °C 5) densidad g/mL	30 ₍₂₎	65.38(6)
	906(4)	1.6(7)
	1.38(3)	1.76(8)
	7.14(5)	Zn ₍₁₎
	(Ar)3d ¹⁰ 4s ² (10)	
	216 (9)	
		6) peso atómico g/mol 7) electronegatividad 8) calor de fusión 9) primera energía de ionización kcal/mol 10) estructura electrónica

La tabla 22 resume las respuestas de los profesores en el cuestionario. Algunos profesores añadieron notas al margen, tales como:

“Sustancia (macro) – Elemento (léase “átomo”).” P2

“No comprendí.” P9

“La masa atómica promedio de cada elemento (expresada en una) se conoce como peso atómico.” P10

“Usted cree que elemento es un átomo y sustancia un conjunto de átomos ordenados a P (presión) y T (temperatura) definidas (¿?) Yo no comparto esa visión.” P16

		P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
1	símbolo	E	S-E	E	E	E	E	E	-	E-S	-	E	-	E	-
2	número atómico	E	E	E	E	E	E	E	-	E	-	E	-	E	-
3	radio	E	E	E	E	E	E	E	S	E	-	E	-	E	-
4	t ebullición	E-S	S	S	S	S	S	S	S-E	E-S	E-S	S	-	S	-
5	densidad	E-S	S	S	S	S	S	S	S-E	E-S	E-S	S	-	S	-
6	peso atómico	E	E	S	E	E	E	E	-	E	-	S	-	E	-
7	electronegatividad	E	E	E	-	E	E	E	E	E-S	E-S	E	-	E	-
8	calor de fusión	E-S	S	S	S	S	S	S	E-S	E-S	E-S	S	-	S	-
9	1ª energía de ionización	E	E	E	E	S	E	S-E	E	E	E-S	E	-	E	-
10	estructura electrónica	E	E	E	E	E	E	E	S	E	-	E	-	E	-

Tabla 22 P13 y P16 no contestaron esta pregunta.

En síntesis:

Como puede observarse, el cuestionario tenía muchas preguntas cerradas y las respuestas eran muy conducidas. Este primer instrumento utilizado en nuestro trabajo si bien nos permitió tener un panorama general de lo que los profesores manifiestan que incluyen del tema de tabla periódica en sus primeros cursos de química en la universidad, no permite, en cambio, hacer ningún tipo de distinción entre los profesores.

Quizás lo que llama la atención es que, a diferencia de lo observado en los libros de textos previamente analizados, los profesores que consideran que no es necesario enseñar estructura atómica antes del tema de la tabla periódica indicaron que no hacen un recuento histórico.

No obstante, a pesar de las limitaciones de este cuestionario, nos dio pie para pensar en una entrevista semiestructurada que permitiera conocer más a fondo las ideas de los profesores respecto a la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química y hacer un seguimiento de la coherencia de sus respuestas a lo largo de las distintas etapas de esta investigación.

Además, como se verá más adelante, las primeras respuestas dadas inicialmente por los profesores en el cuestionario jugaron un valioso papel en el momento de la triangulación de los resultados y de la caracterización de los profesores dentro de cada perfil.

La Tabla 23 resume toda la información recogida con el cuestionario.

	EA - TP	TP sin EA	Historia	No historia	Enseña E. como Sustancia	E como átomos idénticos	E determinado por Z	Define E. como Sustancia	E como átomos idénticos	E determinado por Z	Química descriptiva	No descriptiva	Z*	Calculan Z* por Slater	r	I	AE	polarizabilidad	electronegatividad	propiedades met. o no metálicas	Configuración electrónica	Propiedades magnéticas	Potenciales redox	Reacción de óxidos con agua	Carácter ácido base de óxidos e hidruros
P1	X		X		X			X				X	X	X	X	X	X	X	X	X					
P6	X		X		X			X			x		X	X	X	X	X	X	X						
P8	X		X		X			X			x		X	X	X	X	X	X	X						
P9	X		X		X			x		x		x	X	X	X	X	X		X						
P4	X		X		X				X		X		X	X	X	X	X	X	X						
P12	X		X		X				X		x		X		X	X	X	x	X						
P10	X			x	X					x	x		X		X	X	X	X	X						
P3	X		X				X			x		X	X		X	X	X		X			x			
P15	x		X				x			x		x	X	X	X	X	X		x						
P2		X	X	X	X	x			X			X	X		X	X	X	X	X		x				
P7		X		X	X		X			x		x			X	X	X	X	X						
P11		X		X			X		X		x		X	X	X	X	X	X	X						
P13		X		x	X				x		x		X		X	X	X		X						
P16		x	x		x					x	x			x	x	x	x		X	x			x	x	x

Tabla 23

Sección II: La función de la tabla periódica

1. Análisis de la primera entrevista sobre tabla periódica

En vista que la información obtenida a través del cuestionario había sido insuficiente para conocer las diferencias y confirmar las semejanzas entre las opiniones de los profesores acerca de lo que consideran más importante sobre la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de la universidad, se procedió a efectuar una entrevista estructurada.

Lo que se pretende en este apartado es mostrar toda la información que nos aportaron los docentes a través de un contacto más directo con cada uno de ellos. Algunas de las preguntas aparecían también en el Cuestionario sobre Tabla Periódica, lo cual nos permitirá más adelante comparar y constatar sus posiciones en dos momentos diferentes del proceso.

Esta primera entrevista sobre tabla periódica fue desglosada pregunta por pregunta. Las respuestas a cada pregunta fueron posteriormente resumidas y tabuladas, como se observa a continuación. Los profesores P5 y P14 no hacen parte del colectivo analizado por las razones que ya se explicaron en la metodología. El proceso completo del análisis de cada pregunta se encuentra en el anexo 5 correspondiente a la primera entrevista.

A continuación presentaremos el resumen de cada respuesta y la discusión generada alrededor de los diferentes puntos tratados en la entrevista.

1.1. Primera pregunta: ¿Cree usted que se podría hacer un curso de química general sin incluir tabla periódica?

En resumen:

Todos los profesores, menos uno, consideran que se debe incluir tabla periódica en un curso de Química General. Las respuestas dadas por los profesores se presentan a continuación.

Sí

Se puede hacer un curso de química general sin incluir la tabla periódica: P10

Porque:

- La tabla periódica se necesita especialmente para explicar la estructura de la materia.
P10

No

No se puede hacer un curso de química general sin incluir tabla periódica: P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P9, P11, P12, P13, P15, P16

Porque es necesaria:

- **Para entender la química y enseñarla:**
 - La tabla periódica es un instrumento que le permite a uno entender muchos principios de la química. P1, P3
 - La tabla periódica es uno de los pilares de la química moderna. P2
 - De la tabla periódica y de todas las propiedades que uno estudia en ella se derivan los conceptos fundamentales de la química. P6
 - Proporciona muchos elementos para entender el comportamiento de elementos y de reacciones en sistemas químicos. P3
 - Es un elemento fundamental en la enseñanza de la química. P12
 - Una evidencia muy fuerte de la teoría atómica... especialmente del modelo de capas que se maneja con la teoría atómica, la estructura. P2
- **Para conocer los elementos:**
 - Hay que dar a conocer los elementos, los constituyentes de las sustancias.
P4, P8, P15

- **Para organizar la información:**
 - Para entender las características principales de la información contenida en la tabla periódica. P8
 - La tabla periódica resume las propiedades, las relaciones, la lógica de la presentación, del orden que hay de la materia. Hace falta una base, y la base es esto. P13, P16
 - El objetivo es mostrar que el comportamiento de los elementos, el comportamiento de sus propiedades químicas y físicas no son digamos del todo azarosas, sino que hay unas tendencias que empiezan a entenderse precisamente a partir de la organización de esos elementos en la tabla periódica. P7
 - Es como el sitio donde uno puede deducir, con sólo mirar la ubicación, el comportamiento de los diferentes elementos. P9
 - La tabla periódica es una sistematización de las propiedades de los elementos relacionados con su configuración electrónica P12

- **Para conocer la historia de la química:**
 - Creo que la organización de los elementos en ella constituyen no solamente la aplicación para posteriores temas, sino que incluye todo un contexto histórico que hubo a través de ella. P11

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Sí se puede									X					
No se puede	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X

Tabla 1

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Entender y enseñar química	X	X	X		X				X		X			
Conocer los elementos				X			X						X	
Organizar la información						X	X	X			X	X		X
Conocer la historia de la química										X				

Tabla 2

Las Tablas 1 y 2 resumen las respuestas a la primera pregunta de la entrevista.

1.2. Segunda pregunta: ¿Con qué objetivo se debe enseñar la tabla periódica en un curso de química general?

En resumen:

Los docentes consultados opinan que la enseñanza de la tabla periódica en los primeros cursos en la universidad tiene como:

Objetivos generales:

- **Entender la química.** P1, P6
 - Proporciona una visión de conjunto de la química. P3
 - Para poder explicar y predecir. P12
 - Proveer a los estudiantes con una visión un poco más universal de cómo nuestro universo está construido. P8

- **Explicar la constitución de las sustancias.**
 - Para poder explicar cómo es que se están constituyendo las sustancias realmente. P4

- **Permite ordenar (sistematizar) la información de que se dispone el química.**
P16
 - El objetivo es mostrar que hay tendencias en el comportamiento tanto químico como físico de los elementos. P7, P11, P13, P15
 - Saber como se comporta un elemento. P9

- **Mostrar el contexto histórico de la organización de los elementos en la tabla periódica.** P11

Objetivos específicos:

- Es una buena justificación del concepto del modelo de capas de la estructura de un átomo. P2
- Yo pienso que el único objetivo de incluirlo (el tema de tabla periódica) es explicar la estructura de la materia. P10

La tabla 3 sintetiza las respuestas de la segunda pregunta de la entrevista.

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Entender la química	x	x	x		x		x		x		x			
Explicar las sustancias				x										
Sistematizar la información						x		x		x		x	x	x
Mostrar el contexto histórico										x				

Tabla 3

Quizás la primera razón por la cual la tabla periódica deba estar presente en un curso de Química General es porque se originó para ser enseñada en los cursos de química en la universidad. Una larga investigación científica del comportamiento químico de las sustancias se concretó, a través del trabajo de Mendeleiev, en la tabla periódica que ahora sirve de instrumento para la transposición didáctica del conocimiento químico.

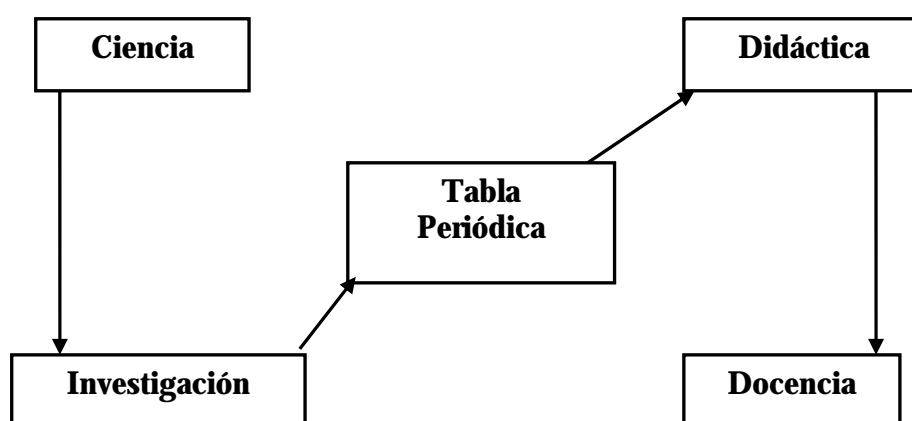


Figura 1

En 1952 Tamres y Bailar.Jr. discutiendo sobre los contenidos de un programa de química planteaban la pregunta: “¿Se puede diseñar un solo curso para suplir todas las necesidades de todos los estudiantes?” y luego respondían: “Se piensa en un curso de química general que antecede a otros de analítica, orgánica, inorgánica y tal vez físico química debe incluir: teoría atómica, estructura atómica, tamaños de átomos e iones, la tabla periódica, la naturaleza de las uniones químicas, teoría cinética y teoría del equilibrio.”

No hay duda de que la ley periódica de Mendeleiev es uno de los más grandes temas organizadores de la ciencia (Singman, 1984). Como afirma Fernelius, (1986), la tabla periódica “disminuye la entropía del conocimiento”.

Desde hace un siglo, la tabla se ha constituido en el punto de intersección de los laboratorios científicos y las aulas de clase. Como dicen los profesores consultados, la tabla explica, sistematiza, contextualiza, acerca la ciencia al mundo real y a la vez, ayuda a entender la realidad que se palpa.

De acuerdo con nuestros resultados, todo parece indicar que la tabla periódica seguirá conservando su lugar de honor tanto en la química como en los cursos de química. Como manifiestan los profesores entrevistados en este trabajo:

“Cualquier estudio que se haga de la química, sin antes haber al menos entendido las características principales de la información contenida en la tabla periódica, pues está incompleto.”

En síntesis:

Se puede decir que las palabras de P16 reflejan la opinión general de este grupo de profesores consultados:

“... el químico se ha de plantear ¿va a ser posible tener unas ideas básicas, tener una estructura mínima para entender cómo funciona la química? Y, realmente, para esto el eje principal es la tabla periódica. Por lo tanto, como una razón, es la base de lo que nosotros vamos a ir desarrollando, no a través de este curso, si no en los cursos próximos es el marco donde vamos a poner todos estos conocimientos.”

1.3. Tercera pregunta: ¿Qué cree que se debe enseñar de tabla periódica en química general?

1.4. Quinta pregunta: ¿En qué orden enseña usted esos temas?

Puesto que la quinta pregunta está directamente relacionada con la tercera, presentaremos de una vez los resultados de estas dos preguntas para poder englobar la discusión.

Con respecto a la tercera pregunta:

En resumen:

Los profesores y profesoras consideran que lo que se debe enseñar sobre tabla periódica y propiedades periódicas en los cursos generales de química es:

- **La tabla:**

- Qué tabla periódica utilizaremos y que no es única, y por qué la utilizamos. P15
- Cómo se lee la tabla periódica, qué tipo de información y cómo se puede utilizar esa información a problemas reales. P8
- el organigrama de la tabla periódica, que también te dice sobre determinadas propiedades de los elementos. P8, P10, P12
- símbolos que hay en la tabla periódica, y por qué determinado símbolo tiene determinado nombre. P8,
- por qué la tabla periódica está organizada como está organizada, propiedades periódicas de los elementos, y como estas se relacionan al punto en el cual están ubicados, en el cual cada elemento está ubicado y por qué está ubicado en ese punto en la tabla periódica. P8
- La utilización de grupos y períodos. P3, P9, P12, P13

- **La ley:**

- Mostrar que ese orden que siguen los elementos químicos de pronto pertenece a un orden mucho más general. P10

- **Estructura atómica y configuración electrónica:**
 - El concepto básico que está en el trasfondo que es el concepto de configuración electrónica, (*en el cual se origina realmente la tabla periódica). *P2, P6, P9, P11, P12, P16
 - Estructura atómica. P4

- **Propiedades periódicas:**
 - Las propiedades periódicas tales como:
 - Carga nuclear efectiva. P2, P4, P6, P9, P12, P15
 - solo con analogías. P1
 - Tamaño, radio. P1, P2, P3, P6, P7, P9, P10, P15
 - Potencial/energía de ionización. P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P9, P10, P12, P15
 - Electroafinidad/ Afinidad electrónica. P1, P2, P3, P6, P7, P9, P10, P12, P15
 - Electronegatividad. P2, P3, P6, P7, P8, P9, P12, P15
 - Polarizabilidad. P1, P4, P6,
 - solo a químicos. P7
 - Estados de oxidación. P15

- **Otras propiedades:**
 - Propiedades metálicas y no metálicas. P1, P16
 - Propiedades magnéticas. P3

- **Química Descriptiva:**
 - Algo de descriptiva. P2, P16
 - Tendencias de reactividad. P2, P12
 - Formación de algunos compuestos P2
 - Aplicaciones. P4
 - Abundancia. P15, P16
 - Importancia en los seres vivos. P16

- **Historia:**

- Un poco de historia. P15
- Una buena introducción a la enseñanza de Mendeleiev y los problemas que él tuvo. P13

La tabla 4 recoge las respuestas de la tercera pregunta de la entrevista.

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
La tabla			x				x	x	x		x	x	x	
La ley									x					
Estructura y configuración electrónica		x		x	x			x		x	x			x
Propiedades periódicas	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	
Otras propiedades	x		x											x
Descriptiva		x		x							x		x	x
Historia												x	x	

Tabla 4

Con respecto a la quinta pregunta:

En resumen:

El orden en que los profesores dicen que enseñan los distintos puntos relacionados con la tabla periódica aparecen en la tabla 5.

	H	T.P.	G.P.	E.A.	Z*	r	I	A.E.	E.N.	Pol.	#oxd.	P.M.	P.	D.
P1				1	4	2	5	6	3	9	8	7		
P2	1			1*		2	3	4	5					6
P3	1			2	3	4	5	6	**	**				
P4				1	2	3	4	5	6					7
P6	1			2	3	4	6	7	5	8				9
P7					2	1	4	3	5					
P8		1			2		3	4	5	6				
P9	2	3		1	*	5	4	*	*					
P10***						*	*	*						
P11					1	2	3	4	5					
P12	1			2	3	4	5	6	7					
P13	1					2	3	5	4					
P15	3	2	4	1	5	8	6	7	9		10	11		
P16		1		2										3

Tabla 5 H= historia; T.P.= tabla periódica; G.P.= grupos y periodos; E.A. = estructura atómica; Z* = carga nuclear efectiva; r = radio, I = energía de ionización; A.E. = afinidad electrónica; E.N. = electronegatividad; Pol. = Polarizabilidad; #oxd. = Números de oxidación; P.M. = propiedades metálicas (no metálicas y semimetálicas); P= Relacionado con la práctica; D= descriptiva; * = alternativamente; **= en otro capítulo; ***= no recuerda.

De acuerdo con Sanmartí (2000), el problema básico que se plantea la didáctica de las ciencias, es cómo enseñar Ciencias de una manera significativa. Esto implica entonces responder las cuatro preguntas de todo currículo: ¿qué enseñar? ¿cuándo enseñar? ¿cómo enseñar? y ¿cómo evaluar los resultados?

A estas alturas de nuestra discusión ya sabemos que sobran motivos para justificar la inclusión de la tabla periódica en los cursos de química general, pero también nos interesaba conocer las opiniones de los sobre qué, cuándo y cómo enseñar, y finalmente cómo evaluar lo aprendido.

En cuanto a qué enseñar, en dos oportunidades se les consultó a los profesores sobre los temas que incluían al hablar de tabla periódica. Una vez en el cuestionario y otra durante la primera entrevista. Como muestra la tabla 4, la casi totalidad de los profesores coincidió en la necesidad de incluir las propiedades periódicas, asociadas al átomo, muy pocos se refirieron a la química descriptiva o a la historia y sólo uno mencionó la ley periódica.

Con respecto a qué propiedades periódicas enseñar, las respuestas a la quinta pregunta y al cuestionario aparecen en las tablas 5 y 6 respectivamente. La tabla 5 muestra, además, el orden sugerido para su presentación en clase. La tabla 6 corresponde a la tabla 14 de la sección I de este capítulo.

Propiedades periódicas	P1	P2	P4	P6	P8	P10	P11	P12	P3	P9	P13	P15	P7	P16
Carga nuclear efectiva	X	X	X	X	X	X	x	X	X	X	X	X		
Radio	X	X	X	X	X	x	x	X	X	X	X	X	X	X
Energía de ionización	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Afinidad electrónica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Polarizabilidad	X	X	X	X	X	X	X	X					X	
Electronegatividad	X	X	X	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	X
otra	x	x							x					x
Carácter metálico.	x													
Configuración electrónica.		x												
Propiedades magnéticas.									x					
Potenciales redox, reacción de los óxidos con agua; carácter ácido-base de los óxidos e hidruros; metales y no metales														x

Tabla 6 (Tabla 14 en el Cuestionario)

Este punto de la investigación puso de manifiesto que existen diversas opiniones sobre lo que se debe enseñar en las pocas horas que estos programas asignan a este tema que todos consideran de fundamental importancia. Unos consideran que la carga nuclear efectiva debe ser el soporte para explicar todas las demás, otros el radio, otros la energía de ionización, por ejemplo.

La polarizabilidad, por ejemplo, es un concepto que, a mi juicio, es tan importante como la electronegatividad para entender la formación del enlace. Personalmente, en mis cursos de química general o química inorgánica siempre lo incluyo y les digo a mis estudiantes que es muy difícil encontrar un enlace 100% iónico o 100% covalente, que la mayoría están entre los dos extremos.

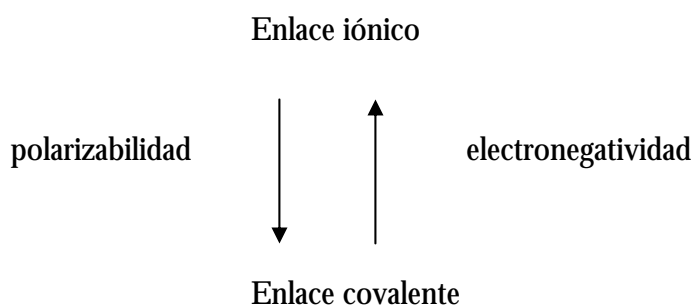


Figura 3

Y después defino la polarizabilidad como la propiedad que hace que un enlace originalmente iónico adquiera características covalentes, mientras que la electronegatividad es la propiedad que hace que un enlace originalmente covalente adquiera características iónicas. Una explicación similar aparece en Mortimer (1983) y en Usón (1974).

Sin embargo, como anota P4, y como se ve en las tablas 5 y 6 muy pocos profesores lo enseñan en química general.

“Polarizabilidad, y es un concepto que poco usan, y es un concepto clave, interesantísimo, que puede ser usado para explicar por qué unos compuestos son coloreados y otros no, y eso generalmente no se mira así, la gente que no mira la inorgánica desde ese punto de vista, obvia el concepto de polarizabilidad. Lo confunde mucho con el concepto de polaridad, que son dos cosas totalmente distintas.” (P4)

Al respecto, P7 y P9 anotaron:

“El concepto de polarizabilidad me parece a mí que es útil, pero no necesariamente a nivel de química general. El concepto de polarizabilidad digamos es más de uso para la gente que se va meter en una carrera que tiene mucho más que ver con la química.” (P7)

“Yo les hablo de la polarizabilidad en química general, pero realmente no lo enseñé como tal. Ni la relaciono con la tabla periódica.” (P9)

La carga nuclear efectiva, Z^* , que algunos autores como Gillespie et al (1990), llaman “la carga del core”, fue otra propiedad que también provocó controversias. Al igual que la polarizabilidad, yo siempre la enseñé en mis cursos. Es más, es la primera propiedad periódica que enseñé porque considero que es la base de la explicación del comportamiento de todas las demás (Lewis y Waddling, 1986, Mason, 1988, Waldron et al., 2001).

Existen varios métodos para calcular Z^* . El más común es el de Slater, aunque hay otros más sofisticados como el de Clementi y Raimondi (1963) descritos en Huheey, (1981) y otros mucho más sencillos y simplificados, como el que presentan Gillespie et al(1990), pero en general podemos decir que:

$$Z^* = Z - (\text{factor de apantallamiento})$$

Con este antecedente personal, se les preguntó a los profesores en el cuestionario si consideraban que alguna propiedad en particular determinaba la variación de las demás. Varios eligieron la carga nuclear efectiva.

	P4	P8	P9	P11	P15	P6	P1	P13	P16	P3	P10	P12	P2	P7
Calcula z^*														
Sí	x	x	x	x	x	x								
Ilustra mejor el concepto.	x	x	x	x	x									
Permite calcular radios iónicos.						x								
No							x	x	x	x	x	x	x	x
Falta de tiempo:							x	x						
Mejor en química inorgánica.							x		x					
Química general debe ser un curso conceptual.													x	
Mezcla modelos clásico y cuántico.														x
Sólo importa el concepto, cualitativo										x	x	x		

Tabla 7 (Tabla 18 en el cuestionario)

En una pregunta aparte se les consultó si calculaban la carga nuclear efectiva. A quienes contestaron afirmativamente, se les solicitaba posteriormente que indicaran el método para calcularla. Sus respuestas, obtenidas en la sección anterior (tablas 18 y 19), las retomamos ahora en las tablas 7 y 8.

¿qué método usa?	P4	P8	P15	P6	P9	P11	P16	P1	P2	P3	P7	P10	P12	P13
Slater	x	x	x	x	x	x	x							
Es el más simple.	x	x	x											
Es el que más se encuentra en los libros.				x										
Clementi y Raimondi														
otro														

Tabla 8 (Tabla 19 en el cuestionario)

Durante la primera entrevista apareció nuevamente la pregunta sobre la importancia que cada uno da a la enseñanza de la carga nuclear efectiva y obtuvimos respuestas encontradas. Algunos docentes como P1, P8, P11, P12 y P15 resaltan la necesidad de partir de la comprensión de la carga nuclear efectiva para explicar después la variación de todas las demás propiedades periódicas:

*“Pero esa parte de **carga nuclear efectiva** sí es decisiva para un estudiante de química que lo entienda bien. Porque **eso le sirve de base para poder explicar muchas cosas**, para poder predecir, es que, **la carga nuclear efectiva le permite a uno predecir muchos comportamientos y puede uno predecir el potencial, puede uno predecir estados de oxidación, facilidad para oxidarse, facilidad para reducirse**. Si conoce bien, si entiende, ¿no? Entender, porque una cosa es entender y otra memorizar. Si entiende bien ese concepto, puede predecir muchas cosas.” (P1)*

*“En mi opinión, **uno de los temas principales que debe mostrarse es carga nuclear efectiva, porque de allí se desprenden casi todos los otros**. Entonces a mí me gusta hacer énfasis en ese primero, y tratar de explicar en qué consiste, ¿no? Y después, a partir de ese mismo derivar las otras propiedades, vamos a hablar de energía de ionización, afinidad electrónica, inclusive electronegatividad, y alguna aplicación del mismo, inclusive alguna reacción de algunos elementos. Entonces yo empiezo por allí y ahí comienzo a desprender los otros. El último que explico por lo general es electronegatividad.” (P8)*

*“**La primera propiedad que se debe enseñar es la carga nuclear**, tanto la carga nuclear como la carga nuclear efectiva y con base en qué tanto retenga o no el núcleo a los electrones de valencia y qué tanto apantallamiento hagan los electrones internos, inferir propiedades como potencial de ionización, afinidad electrónica, radios o tamaños de los átomos, en cualquiera de sus conceptos y electronegatividad.” (P11)*

“... la carga nuclear efectiva me parece que es muy importante porque cuando uno habla de las tendencias y dice que, por ejemplo, la electronegatividad aumenta de izquierda a derecha en la tabla periódica, pues esa es una tendencia general pero que tiene excepciones, variaciones que uno puede explicar con base en el concepto de carga nuclear efectiva y de apantallamiento. [...] ... porque si no, entonces ¿cómo se explican entonces las variaciones?” (P12)

“Pero es importante el concepto de carga nuclear efectiva para ver la variación de los radios, porque es que si no... o el de los potenciales de ionización, depende de la carga nuclear efectiva, porque si no he definido carga nuclear efectiva no me salen las propiedades, me dan al revés, en algunos casos.” (P15)

Algunos como P3 la enseñan “...muy someramente”. Mientras que, en particular, P7, considera que el tratamiento de la carga nuclear efectiva trae consigo una mezcla de modelos que, a su modo ver, confunde al estudiante.

“Carga nuclear efectiva... de nuevo, con ese concepto.. [...]. De todos modos está en el programa discutir el concepto de carga nuclear efectiva, sin embargo, yo particularmente tengo mis dudas al respecto, porque de nuevo el problema con ese concepto es de nuevo el problema de los modelos ¿sí? Cuando tú tienes en última estructura atómica lo que tú quieres es llegar a un modelo cuántico de estructura atómica, pero el asunto es que para poder explicar cualitativamente el concepto de carga nuclear efectiva típicamente uno usa modelos clásicos ¿sí? El átomo como una estructura cerrada, en donde hay unos electrones que están ocupando una zona del espacio digamos cerca del núcleo, otros electrones que están en una zona mucho más allá, entonces hablar del concepto de apantallamiento significa que tú dices hay unos electrones que están más cerca y hay otros electrones que se sienten apantallados y que están más lejos, pero eso rompe con el modelo cuántico. Entonces, para mí digamos es una mezcla de modelos. La explicación del fenómeno implica mezclar dos modelos que en principio no tienen nada que ver el uno con el otro. Y eso crea, a mi modo de ver, confusiones en el estudiante.” (P7)

Este cuestionamiento sobre la mezcla de los modelos atómicos en los cursos de química apareció en las entrevistas de P2, P7 y P10 y será discutido más adelante, cuando nos refiramos a los caminos a través de los cuales los profesores acceden a la enseñanza de la tabla periódica.

A lo largo de toda esta investigación se ha mantenido en el anonimato la identidad de los profesores y profesoras que tan generosamente aceptaron hacer parte de este trabajo. Sin embargo, creo que no faltó a mi ética si comento en este momento que la casi totalidad de los docentes que escogen y calculan la carga nuclear efectiva para justificar las tendencias periódicas en la tabla, y que resaltan la importancia de la polarizabilidad para una tener una mejor comprensión de la formación de los enlaces, pertenecen al área de química

inorgánica. Estas coincidencias insinúan que el manejo y la presentación que los profesores dan a los temas en sus cursos están de alguna forma más influenciados por el área de su formación que por el currículo establecido.

Queriendo conocer hasta qué punto se sigue de manera concertada el programa institucional de los cursos, se les preguntó a los profesores si los temas que ellos enseñaban estaban en el programa oficial del departamento.

1.5. Cuarta pregunta: ¿Están esos puntos incluidos en el programa del curso?

En resumen:

Respecto a si los temas que los profesores enseñan en sus cursos están incluidos en los programas oficiales de sus respectivos departamentos, los consultados opinan que:

- Sí. P2, P6, P7, P10, P15
- De manera muy general P1, P3, P4
- No sabe. P8
- No recuerda. P13
- No P9, P11, P12, P16

Las respuestas a la cuarta pregunta se resumen en la tabla 9.

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Sí		X			X	X			X				X	
De manera general	X		X	X										
No sabe							X							
No recuerda												X		
No								X		X	X			X

Tabla 9

Lo que realmente dicen los programas de Química General y Química Fundamental del Departamento de Química de la Universidad del Valle, como puede observarse a

continuación, es simplemente *Propiedades Periódicas* en la Unidad 3 del primero y *Configuración electrónica y tabla periódica. Propiedades atómicas y tabla periódica* en la Unidad 2 del segundo.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUIMICA
10-08-2001

PROGRAMA DEL CURSO: QUIMICA GENERAL
CODIGO: 116016M
HORAS MAGISTRALES: 3- **HORAS DE TALLER:** 1
HORAS DE TRABAJO
INDEPENDIENTE: 5 -**NUMERO DE CREDITOS:** 3
FORMA DE EVALUACION: 2 PARCIALES CADA UNO 50%
1 OPCIONAL

VALIDABLE- HABILITABLE SI

UNIDAD 3

Estructura atómica y propiedades periódicas

OBJETIVOS

- Comprender los modelos atómicos
- Comprender y aplicar las propiedades periódicas

CONTENIDO

- Modelos atómicos configuración electrónica.
- **Propiedades Periódicas**

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
FACULTAD DE CIENCIAS
10-08-2001

PROGRAMA : QUÍMICA FUNDAMENTAL
CÓDIGO: 116002 M
NUMERO DE CREDITOS: 3
INTENSIDAD HORARIA: 3 Horas Teoría -1 Hora de Taller
PRERREQUISITOS: 116011M (PA)
VALIDABLE-HABILITABLE Si

1. OBJETIVOS

- 1.1 Ofrecer a los estudiantes universitarios de diversas disciplinas académicas un enfoque motivado de los principios básicos de la química, sus aplicaciones, y el método del trabajo científico buscando despertar en ellos una actitud crítica y analítica como parte fundamental de su formación universitaria.
- 1.2 Brindar al estudiante una visión general de la Química como ciencia, su papel y su importancia en el desarrollo de la sociedad y del hombre.
- 1.3 Brindar las bases del conocimiento químico a aquellos estudiantes que requieren avanzar más en esta ciencia como parte de su formación científica básica y/o profesional.

UNIDAD 2: ESTRUCTURA DE LA MATERIA.

4 Semanas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Al concluir esta unidad el estudiante podrá:

Describir los distintos modelos atómicos.

Realizar la distribución electrónica y con base en ella ubicar los elementos en la tabla periódica.

Analizar la variación de las propiedades atómicas a lo largo y ancho de la tabla periódica.

Distinguir los diferentes tipos de enlace y describir los principales modelos.

CONTENIDO

- Elementos y símbolos
- Teoría atómica de Dalton
- Compuestos, composición y fórmulas
- La estructura del átomo: partículas subatómicas y primeros modelos atómicos. Número atómico y número de masa. Isótopos. Representación de los isótopos.
- Teoría atómica moderna. Radiación electromagnética y energía. Espectro atómico y niveles de energía del átomo de hidrógeno. Modelo atómico de Bohr y modelo de la mecánica ondulatoria. Niveles, subniveles y orbitales en el átomo de hidrógeno. Espín electrónico. Principio de exclusión de Pauli y configuración electrónica de los átomos de los primeros 18 elementos.
- **Configuración electrónica y tabla periódica. Propiedades atómicas y tabla periódica.**
- Enlace químico: compuestos iónicos y covalentes. Electronegatividad y polaridad de enlace y de molécula; momento dipolar. Estructura molecular, formas moleculares y modelo de la repulsión electrónica. T. orbital molecular.

Como concluyó P4:

“... simplemente habla de propiedades periódicas y cada uno da las propiedades periódicas que más o menos maneja.”

En la Universidad Autónoma de Barcelona no existe un curso de química general como tal, sin embargo, las respuestas contradictorias de los docentes de esta universidad, sugieren la misma libertad y autonomía de los profesores en el contenido real que imparten en sus cursos.

Si bien es cierto que la libertad de cátedra es un derecho que los profesores hemos reivindicado a lo largo de los años, también considero que es importante tener en cuenta que cuando se ofrecen cursos simultáneos bajo un mismo nombre, debería haber una coordinación previa de lo que se ha de enseñar. Esto implica planear unidades didácticas (Sanmartí, 2000) que permitan ser implementadas por todos los profesores en el aula, aunque respetando el estilo particular de cada uno.

1.6. Sexta pregunta: ¿Enseña algo de química descriptiva en su curso? En caso afirmativo, ¿algún grupo en especial?

En resumen:

En cuanto a incluir la química descriptiva dentro de los cursos generales de química, los docentes manifestaron que:

- La química descriptiva desvirtúa la química. P1
- No la incluyen. P2, P3, P8, P9, P10, P15
- Sí, de lo más relevante. P4, P6, P11, P12
- Los remití a internet. P7
- No se puede convertir es el un listín telefónico. P16
- Depende del grupo de estudiantes. P13

En cuanto a qué grupos de la tabla periódica explican cuando enseñan algo de química descriptiva en sus cursos, los profesores prefirieron:

- El uno o de pronto el de los halógenos. P1, P7
- Un poco de cada bloque. P11, P16
- Bloque principal P6, P8, P12
- Hidrógeno, oxígeno, azufre, carbono, silicio P4
- Propiedades generales de cada grupo, con algún ejemplo aplicativo sobre algún elemento P4

La tabla 10 recoge las respuestas a la sexta pregunta de la entrevista.

A pesar de que en el cuestionario (tabla 11, correspondiente a la tabla 10 del cuestionario) la mitad de los profesores manifestó que incluían química descriptiva en su curso, al volverles a preguntar durante la primera entrevista (tabla 10), sólo cuatro de ellos ratificaron su respuesta; la alusión al bajo número de profesores que aún enseñan química

descriptiva es sólo para mostrar la tendencia a su desaparición de las aulas (Wulfsberg, 1983).

Descriptiva	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Sí (algo)				x	x					x	x			
Internet						x								
Depende del grupo												x		
Desvirtúa la química	x													
No puede ser un listín telefónico														x
No		x	x				x	x	x				x	
Un poco de cada bloque										x				x
Bloque principal					x		x				x			
I y VII	x					x								
Propiedades y ejemplo				x										
H, O, S, C, Si				x										

Tabla 10

Esta situación parece ser generalizada pues encontramos en la literatura varias propuestas en las últimas décadas para reactivar la motivación por su reinserción en los cursos de química, tanto generales como de inorgánica (Webb y Rayner Graham, 1982, Gorman, 1983, Zuckerman, 1986, Woodgate, 1995). Al respecto, Woodgate (1995) afirma que:

“Si los textos pusieran tanto énfasis en la enseñanza de la química descriptiva como en los principios, la actitud de los estudiantes cambiaría y esta fascinante área de la química ganaría su debido lugar en los primeros cursos de química.”

En particular, el editorial del Journal of Chemical Education (1986, 63 (10), p. 828) se refería al desequilibrio existente entre la teoría y los hechos y aludía al principio de Le Chatelier para su restablecimiento. Y en concreto, indicaba que la tabla periódica era una de las manifestaciones más prominentes y exitosas de la interacción entre la química descriptiva y la teoría, ya que había sido formulada por Mendeleiev por la correlación entre las propiedades químicas y los pesos atómicos y seguía siendo una herramienta poderosa para explicar conceptos teóricos tales como la configuración electrónica.

	P4	P6	P8	P11	P12	P10	P13	P16	P1	P3	P7	P9	P15	P2
Química descriptiva														
Sí	x	x	x	x	x	x	x	x						
Para mostrar su importancia.	x													
Acerca a la realidad			x	x	x									
Para entender las propiedades de las sustancias.						x	x							
Porque la química es una ciencia experimental.								x						
No									x	x	x	x	x	x
Propicia la memorización.									x	x				
Falta de tiempo.										x	x	x	x	
No explica reactividad ni comportamiento químico.									x					
No está en el programa.														x

Tabla 11(Tabla 10 del cuestionario)

Algunos de los docentes consultados justificaron su negativa en base al poco tiempo que hay en los cursos generales y la gran cantidad de temas que se tienen que cubrir. P1, en cambio, fue explícito en sus razones para eliminar la química descriptiva de sus cursos y usando su estilo característico de las analogías, manifestó:

“Es que la química descriptiva le habla de los hechos, les habla de cosas, pero no les explica el por qué. Es lo que hicieron mis profesores de historia, ¿no? en el colegio. Ellos nos hablaban de la Batalla de Boyacá, cómo había ocurrido, que Bolívar había ido en un caballo blanco, por el lado derecho, y que Ansuátegui iba por el otro lado, con un uniforme azul y unas botas negras. Esa es la historia que a mí me enseñaron. Una historia muy descriptiva pero en estos momentos a nosotros no nos importa eso, nos interesa saber por qué ocurrió eso...y cuales eran las consecuencias de todo eso... es más atractivo, ¿cierto? Lo mismo pasa en la química, si uno se pone a describir, a describir, a la gente se les está privando de que deguste la química, y a uno le gusta la química cuando logra explicar fenómenos, explicar hechos, predecir comportamientos, predecir fenómenos, poder hacer aportes a la ciencia.”

En todo caso, la enseñanza de la química descriptiva en el contexto de esta investigación, al igual que las propiedades periódicas, está sujeta más a la voluntad del docente que a lo establecido en un programa. Como afirmó P11:

“Por mis líneas de investigación, creo que sí es subjetivo que yo hable más de los elementos del silicio en los del grupo representativo, y que hable en los metales de transición, sobre los elementos del grupo VIII, porque han sido materia de investigación. Siempre influye el que uno sepa de unos elementos más que de otros para darle un mayor contenido.”

1.7. Séptima pregunta: ¿Qué recursos materiales y metodológicos utiliza? ¿Algo de analogías?

En resumen:

Los profesores indicaron que para la enseñanza de la tabla periódica recurren a los siguientes recursos:

Materiales::

- La tabla periódica grande. P1, P2, P6, P10, P12, P15
- Varios formatos de tabla periódica. P4, P16
- Los estudiantes deben tener tabla periódica. P1, P15
- Vídeos. P1, P3, P7
- Internet. P7, P13
- Tabla por bloques. P4
- Modelos (bolitas) P10
- Fotos de los elementos: P4, P16

Didácticos:

- Regla mnemotécnica. P2
- Resolución de problemas, talleres y ejercicios P1, P6, P7, P8, P9, P10, P13
- Analogías. P1, P2, P9, P12 (pocas) P15, P16
- Ejemplos P15
- Recuento histórico. P3
- Hojas de trabajo P9, P13
- Demostraciones en clase P11, P12

La tabla 12 incluye las respuestas de la séptima pregunta relativa a los recursos materiales y didácticos utilizados por los profesores investigados.

Recursos	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Materiales														
Tabla grande	X	X			X				X		X		X	
Varios formatos				X										X
Tabla por bloques				X										
Estudiantes con tabla	X												X	
Videos	X		X			X								
Internet						X						X		
Modelos									X					
Fotos de los elementos				X										X
Didácticos														
mnemotecnia		X												
Problemas, talleres	X				X	X	X	X	X			X		
Analogías	X							X			X			
-pocas		X											X	X
Ejemplos													X	
Recuento histórico			X											
Hojas de trabajo								X				X		
Demostraciones clase										X	X			

Tabla 12

Como se verá al final de esta sección, el tipo de recurso utilizado por cada profesor está muy relacionado con la función que le asigna a la tabla periódica en su curso. Por esta razón, serán discutido cuando hayamos concluido el análisis de toda la entrevista y describamos las principales características de los distintos grupos encontrados.

1.8. Octava pregunta: ¿Hay alguna práctica de laboratorio sobre tabla periódica?

En resumen:

Respecto a si existe una práctica de laboratorio sobre tabla periódica, como se observa en la tabla 14, los docentes respondieron que:

En química general:

- No P3, P4, P6, P7, P9, P10, P13, P14, P15
- No sabe P2, P12
- Las incorpora personalmente P11

En química inorgánica:

- Hay algunos experimentos. P1, P8
- Son independientes de la teoría P16

Laboratorio	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Química general														
No			X	X	X	X		X	X			X	X	
No sabe		X									X			
Las incorpora										X				
Química Inorgánica														
Algunos	X						X							
Independiente de la teoría														X

Tabla 13

La situación que se presenta con los cursos de laboratorio es de otra índole pero, a mi juicio, más crítica que la encontrada con la química descriptiva, ya que el divorcio entre la teoría y la práctica es institucional.

“Ahora, en el plan de estudios actual las prácticas están separadas de los cursos de teoría, por tanto, no, no hay una unión... [...] Aquí somos muy democráticos, y llevamos la democracia hasta unos límites que son para mí, equivocados. No hay ninguna restricción, no hay ninguna obligación, si matriculó esto debe matricular esto, por tanto podría darse el caso que un alumno estuviera haciendo sólo cursos de teoría o sólo cursos de práctica, lo cual sería insensato, pero la ley lo permite.” (P16)

Ocurre en la Universidad del Valle, en Cali, Colombia y en la Universidad Autónoma de Barcelona, España. Y ocurre no sólo al nivel de la de los currículos universitarios, de lo cual las universidades mencionadas son sólo dos ejemplos, sino también de las líneas de investigación (Izquierdo et al, 1999a, Gil et al., 1999).

Los seres humanos poseemos distintas capacidades cognitivas que se presentan en distintas dimensiones y que son irreducibles entre sí. Una de ellas es el pensamiento, que

opera mediante representaciones de la realidad y que en ciencias corresponde a las teorías científicas. Otra es la acción, que se deriva de la capacidad de desarrollar actividades para transformar el mundo. En ciencias la acción corresponde a la experimentación. En tercer lugar, está la comunicación, que se manifiesta bajo diversos lenguajes, que en ciencias corresponden a los propios de las diversas disciplinas.(Izquierdo, 2003a).

Estas tres dimensiones: el pensar, el actuar y el hablar están íntimamente relacionadas entre sí. Ninguna puede ocupar el lugar de la otra, pero sí se complementan, se fortalecen y se estimulan entre sí (Figura 4).

A la luz del modelo cognitivo de Ciencia (Izquierdo et al. 1999), con una actividad que no genera experiencia, las entidades no se comprenden y el lenguaje resulta críptico (Izquierdo, 2003a) Al privar a los cursos teóricos de química de una parte experimental complementaria, se ha eliminado uno de los tres elementos fundamentales de esta trilogía indispensable en el proceso de aprendizaje, con lo cual, como afirma Izquierdo, la química se reduce a una serie de símbolos escrito en la pizarra. A partir de ahí, el estudiante deberá “creer” lo que dicen el profesor y los libros acerca, por ejemplo, de que el potasio es más reactivo con agua que el magnesio, cuando sería tan fácil verlos en el laboratorio. O deberá “imaginar” los colores de las soluciones de las sales de los metales de transición, de los cuales, a lo mejor, hasta aprenderá a calcular las energías de transición que los ocasionan.

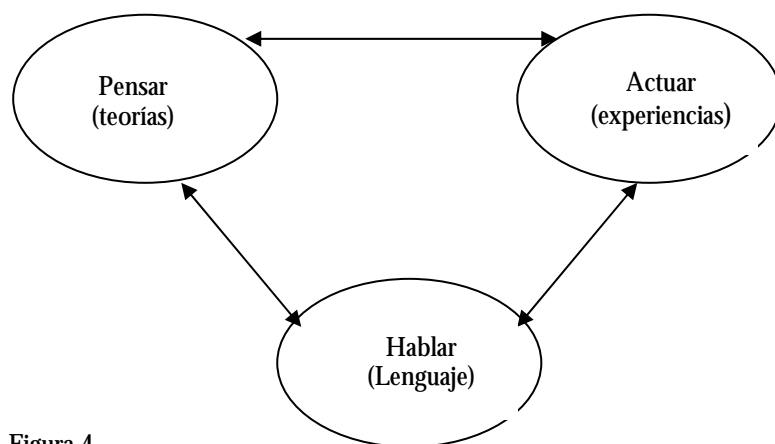


Figura 4

Por una parte, se habla en las clases de átomos y sustancias, se mezclan el macro y el microlenguaje (Pacault, 1994), pero después no hay manera de comprobar en la experiencia las teorías que sustentan el comportamiento de lo macro en la estructura de lo micro.

La disculpa de la falta de tiempo en los programas tan apretados de los cursos (Izquierdo et al. 1999a) y de las carreras se queda corta ante el vacío tan grande que estamos dejando en los estudiantes, en particular en una ciencia que ha sido definida como “*aquella que estudia los materiales del universo y sus transformaciones*”. Unos materiales que, por lo visto en este trabajo, muy pocos estudiantes llegan a conocer de cerca y mucho menos a manipular.

“Por esto es necesario, yo creo, acudir a las imágenes y enseñar realmente transparencias pues de algunas cosas que nos parecen interesantes. Como yo te decía, pues qué aspecto tienen los elementos, que hay muchos químicos que no sabrían qué aspecto tienen muchos elementos químicos, ¿eh? Que no se atreverían a hacer ninguna predicción, cosa que se podría...se tendría que poder hacer, y, después las prácticas van por su lado, por su aire... ya no hay nada perfecto.” (P16)

Este es un punto más para reflexionar a partir de las evidencias emergidas de esta investigación que corroboran las falencias ya mencionadas por otros investigadores (Izquierdo et al, 1999a; Gil et al., 1999).

En 1952, Tamres y Bailar Jr. ya citados en esta sección, refiriéndose al punto en discusión señalaban que:

“Desgraciadamente, resulta difícil encontrar experimentos de laboratorio apropiados para estos cursos. Los estudiantes pueden dibujar o hacer modelos de estructuras atómicas e iónicas.”

Esta acotación demuestra que por una u otra razón, la ausencia de prácticas en estos cursos ha sido un mal generalizado que ha tratado de remediarse con recursos alternativos como los que planteaba P16.

Finalmente, Tamres y Bailar Jr. se refieren a la importancia de la implementación del lenguaje científico en estos primeros cursos en la universidad. A este respecto los autores anotan que en un curso de química general se introducen cerca de 300 nuevos términos científicos para el estudiante, lo cual es equivalente a las palabras que un estudiante aprendería en el primer año de enseñanza de una nueva lengua. De ahí la importancia de

que los profesores ayuden a sus estudiantes a entender su significado exacto (Izquierdo, 2002).

Regresando a los planteamientos de Izquierdo (2003a), si queremos que nuestros estudiantes aprendan una química significativa desde los primeros cursos de su formación es necesario pensar en currículos que integren el pensar, el hablar y el actuar de una manera coherente para lo cual se requieren de buenas teorías que ayuden a pensar, de las palabras adecuadas para comunicarlas y de experiencias que permitan la intervención en el mundo.

1.9. Novena pregunta: ¿Ha intentado diversas maneras de acceder a la presentación de la tabla periódica?

En resumen:

Los profesores manifestaron que para la enseñanza de la tabla periódica se han valido de:

- Muchos ejemplos P1, P15
- El orden lógico (a partir de la estructura) me refiero a ir desde el electrón, el núcleo, luego el átomo, luego las propiedades del átomo, la tabla periódica, luego moléculas P2, P4, P9, P11, P16
- El orden histórico (muestra cómo se han ido desarrollando las ideas). P2, P3, P6, P7, P12
- El ideal es tener una combinación de esos dos. P2
- Sin tanto detalle, dejo mucho al estudiante. P3
- Ejercicios. P8
- De la misma tabla P8, P13, P16
- De lo concreto (lo macro) a lo abstracto. P11
- Buscar otras formas de tabla periódica P10

Las respuestas a la novena pregunta están relacionadas con otras preguntas implícitas: ¿Cuándo enseñar la tabla periódica? ¿Antes o después de la estructura atómica? ¿Desde

donde abordar la enseñanza de la tabla periódica? Las respuestas de los profesores están recogidas en la tabla 14.

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Muchos ejemplos	x												x	
A partir de estructura		x		x				x		x				x
Orden histórico		x	x		x	x					x			
A partir de la misma tabla							x					x		x
Sin tanto detalle			x											
Ejercicios							x							
De lo concreto a lo abstracto										x				
Buscar nuevas formas									x					

Tabla 14

En el análisis de la revisión de los libros de texto (capítulo 5, apartado 3.2) encontramos tres maneras de introducir la presentación de la tabla periódica, que denominamos respectivamente: Camino Sustancialista, Camino Cuanto-mecánico Atómico y Camino Histórico. En este punto de la entrevista esperábamos encontrar estos mismos *caminos* en los profesores.

Sin embargo, a pesar de que el primer análisis del cuestionario sugería que algunos profesores preferían el estudio de las sustancias para acceder al estudio de la tabla, en la entrevista sólo se evidenciaron dos caminos, el histórico y el de la configuración electrónica, aunque en general suelen combinar los dos, o utilizarlos alternadamente, como manifestó P2, tanto en el cuestionario como en la entrevista:

“...yo he intentado dos métodos. Primero hice la introducción histórica a donde explicaba las leyes de la estequiometría, cómo se definían los pesos atómicos y la tabla periódica, como se llegó hasta la tabla de Mendeleiev. Y luego más adelante sí se hablaba de la teoría cuántica y se mostraba cómo la teoría cuántica explicaba esas observaciones empíricas. Pero también he intentado el otro ángulo, y es comenzar de una vez por la teoría atómica e ir avanzando en orden más lógico hasta llegar a la tabla periódica como una consecuencia de la configuración electrónica. Todavía no sé cual es mejor. Yo le llamo el orden histórico y el orden lógico, pero yo no me atrevería a decir cual es mejor.”

Capítulo 6

El cuestionario, como ya se vio en la sección anterior, tenía una pregunta explícita acerca de si los profesores hacían un recuento histórico en su curso. La tabla 15 (correspondiente a la tabla 8 del cuestionario) resume sus respuestas:

	P1	P3	P12	P6	P8	P9	P4	P13	P15	P16	P2	P7	P10	P11
Recuento histórico														
Sí	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Concientiza de la importancia química de la tabla periódica.	x													
Ilustra el método científico.		x	x											
Muestra el desarrollo de la química		x		x										
Permite relacionarse con la identidad de cada elemento							x							
Ubica momento y causa de su formulación.				x	x	x								
Conocer las condiciones de la época.								x	x					
Motivar al estudiante.										x				
No											x	x	x	x
He intentado ambas											x			
Trato de enviar a los estudiantes a las fuentes originales.												x		
No lo considero indispensable, pero puede ayudar a la comprensión de la tabla periódica													x	

Tabla 15 (Tabla 8 en el Cuestionario)

De acuerdo con el resultado del cuestionario (tabla 15), parece haber un consenso general de la bondad de presentar un recuento histórico al introducir la tabla periódica (Solbes y Traver, 2001).

Durante la entrevista algunos profesores volvieron a manifestarse sobre la conveniencia de ambientar y contextualizar históricamente los avances científicos.

“Uno puede enseñar la tabla periódica desde el punto de vista histórico, de cómo se llegó a conformar este modelo de tabla periódica ¿no? Por ejemplo, asociando las tríadas de Dobereiner, la ley de las octavas, hasta llegar a Mendeleiev.” (P3)

“Normalmente empiezo contándoles la historia, desde las primeras clasificaciones de tablas periódicas, luego ya voy enfocándolos a configuraciones electrónicas, para más o menos mirar que analogías había entre los elementos... en las tríadas, por ejemplo, que particularidad había, luego entre las octavas de

Newlands, y más o menos todo eso lo voy llevando encadenado a configuración electrónica. De allí derivó el resto.” (P6)

“Pues siempre arranco con la parte histórica, después hablo un poquito sobre los representativos, cómo la primera tabla... más o menos les hago historia, les hablo de las octavas, de las tríadas y todo eso. Y luego hago un poco de historia. Después llego finalmente a cómo está organizada la tabla periódica hoy en día, de lo importante que es la tabla periódica, y entonces ahí comienzo a decir por qué es tan importante, y comienzo a hablar de por qué las propiedades periódicas, relaciono esa periodicidad con la estructura...” (P9)

“Pero yo personalmente pienso que un curso de Química I sin hablar de la historia pues yo lo veo como inconcebible. Pienso que es importante hablar de los desarrollos históricos.” (P12)

“...les daría un poco de historia, por qué me quedo con esta y a partir de aquí hablaría básicamente de propiedades periódicas...” (P15)

Como afirman P2: *“... la tabla periódica tiene una historia muy bonita...”* y P15: *“Situación la época, yo creo que para mí es muy importante. Si estamos en el año 1900, en el 1800 o ahora estaremos en el 1999, ...es muy importante.”* En este sentido, como ya he mencionado en esta memoria, presento la propuesta del puzzle de la contextualización histórica en la que emergió la tabla periódica.

De otro lado, en nuestra revisión en el Journal of Chemical Education encontramos una propuesta de Leary y Kippeny (1999) para presentar el desarrollo de la teoría atómica desde los trabajos de Faraday en 1832. Esta red basada en *quien, qué y cuándo*, cómo ellos mismos dicen, permite correlacionar distintos hechos y descubrimientos que no hubieran podido darse de manera independiente y además muestra la relación entre la teoría y los experimentos.

Finalmente, existen propuestas como las de Whitman (1984), resaltando la necesidad de hacer un recuento histórico en las clases pero no sólo hasta la ecuación de Schrödinger, sino hasta el descubrimiento de las partículas subatómicas que se conocen hoy en día.

El segundo camino de acceso a la tabla periódica encontrado entre los profesores es el de la estructura atómica. Una vez más, regresamos al origen de este trabajo y encontramos las palabras de Mendeleiev pronosticando lo que habría de pasar:

“Es probable que ella (la variación periódica de los cuerpos simples) resida en los principios fundamentales de la mecánica interna de los átomos y las moléculas”. Principios, Mendeleiev

Las respuestas de los profesores a la quinta pregunta (tabla 5) indican que solamente P1, P2, P4, P9 y P15 colocaron explícitamente el estudio de la estructura atómica como primer punto del temario correspondiente a la unidad de tabla periódica en sus cursos.

	P1	P3	P10	P12	P6	P15	P4	P9	P8	P2	P7	P11	P13	P16
EA antes de TP														
Sí	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
Por su relación con las propiedades periódicas.	x	x												
Explicar más racionalmente la tabla.			x											
Tener una visión más amplia.				x										
Porque hay conceptos que se necesitan en tabla periódica.					x	x								
Para ordenar los elementos (átomos)							x	x						
Para entender la organización de la tabla.									x					
No										x	x	x	x	x
La tabla periódica es empírica.										x				
La tabla se refiere a lo macro.											x	x		
Es valioso seguir el proceso de Mendeleiev.													x	x

Tabla 16 (Tabla 6 en el cuestionario)

Sin embargo, las respuestas en el cuestionario (tabla 16 correspondiente a la tabla 6 del cuestionario) y sus observaciones a lo largo de las entrevistas destacan que todos, en algún momento, justifican *“que el concepto básico que está en el trasfondo es el concepto de configuración electrónica, en el cual se origina realmente la tabla periódica”*, aunque el establecimiento de la ley haya estado basado en el comportamiento de las sustancias.

Estas respuestas ratifican la estrecha relación entre la tabla periódica y la estructura atómica, ya anotadas en el marco teórico.

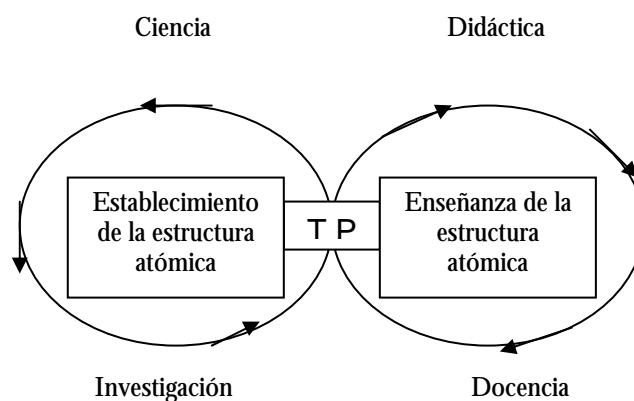


Figura 5

De otro lado, tal como lo habíamos previsto anteriormente, consideramos de interés resaltar en este punto de la discusión las inquietudes planteadas por P2, P7 y P10 acerca del modelo atómico que se debe enseñar a nivel del primer año de universidad (Solbes et al., 1987, Greca y Herscovitz, 2002).

Refiriéndose a las razones de la inclusión de la tabla periódica en los cursos generales de química, P2 manifestó:

“Me parece que es una buena justificación del concepto del modelo de capas de la estructura de un átomo. Eso por un lado. Es decir, En ese curso se introduce la teoría cuántica atómica, pero sin una justificación rigurosa, entonces al estudiante le puede quedar la duda de para qué un modelo tan complicado si hay otras cosas que se pueden explicar por modelos más simples. Entonces la tabla periódica justifica muy bien el modelo de capas.”

Por su parte P10, quien fue el único profesor que consideró que se podría hacer un curso de química general sin incluir la tabla periódica, justificó su respuesta diciendo:

“Un curso donde no se incluyera estructura. Más aún, incluir estructura a nivel de química general puede no ser muy bueno, ¿por qué? Porque se trata de explicar conceptos para los cuales los estudiantes no están capacitados. La mayoría de los conceptos de estructura atómica son conceptos físico matemáticos.”

Estos cuestionamientos acerca de la conveniencia o no de enseñar ciertos temas desde los primeros cursos de química no son nuevos entre los profesores (Sisler, 1948; Tamres y Bailar.Jr., 1952; Izquierdo, 2003a).

En particular Sisler (1948) plantea que los principios teóricos “modernos” organizan el curso de química general constituyéndose en un hilo conductor que disminuye su dificultad, motiva a los estudiantes, es consistente con los objetivos de la educación general y permite enseñar tantos hechos como sea posible. De esta forma, el estudiante será capaz de predecir muchas propiedades de las sustancias sin tener que recurrir únicamente a su memoria.

Ahora bien, aún estando de acuerdo con los planteamientos señalados por Sisler, no deja de ser motivo de preocupación la confusión que existe entre los modelos que se manejan en clase (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Justi y Gilbert, 2002), en particular en este caso, el modelo atómico al cual P7 se refirió en dos ocasiones:

*“... digamos los conceptos de tamaños [...] viene **el problema de la dicotomía entre el concepto clásico y cuántico...** de digamos de tamaño, como entender tamaño del átomo como una barrera cerrada, como una pared o entenderlo desde el punto de vista de zonas de probabilidad.”*

*“Carga nuclear efectiva... de nuevo, con ese concepto.. [...] **el problema con ese concepto es de nuevo el problema de los modelos** ¿si? Cuando tú tienes en última estructura atómica lo que tú quieres es llegar a un modelo cuántico de estructura atómica, pero el asunto es que para poder explicar cualitativamente el concepto de carga nuclear efectiva típicamente uno usa modelos clásicos ¿si? El átomo como una estructura cerrada, en donde hay unos electrones que están ocupando una zona del espacio digamos cerca del núcleo, otros electrones que están en una zona mucho más allá, entonces hablar del concepto de apantallamiento significa que tú dices hay unos electrones que están más cerca y hay otros electrones que se sienten apantallados y que están más lejos, pero eso rompe con el modelo cuántico. Entonces, para mí digamos es una mezcla de modelos. La explicación del fenómeno implica mezclar dos modelos que en principio no tienen nada que ver el uno con el otro. Y eso crea, a mi modo de ver, confusiones en el estudiante.”*

Aquí volvemos a los modelos atómicos Md y Ma de los que habla Izquierdo (2003a). Efectivamente, como manifiesta P7 y como afirma Izquierdo, tanto en los libros de texto como en el aula, estos dos modelos se entrecruzan y se utilizan indiscriminadamente sin que muchas veces ni los mismos profesores tomen conciencia de ello. Según Enduran y Scerri (2002) gran parte de las explicaciones en química se fundamentan en las capas de electrones o en los orbitales. Así, la formación de enlaces, el comportamiento ácido-base,

las reacciones de óxido reducción, la fotoquímica y los estudios de reactividad se discuten regularmente en referencia al intercambio de electrones entre los distintos tipos de orbitales.

Retomando a Izquierdo(2003a), los fenómenos asociados con el Modelo Cambio químico están relacionados con Md y comparten las siguientes características:

- Desaparecen unas sustancias y aparecen otras
- Se conservan los elementos
- La masa se conserva (en los átomos) y las sustancias reaccionan en proporciones definidas (en las ecuaciones)
- La energía se conserva en los enlaces
- El cambio se puede representar mediante átomos y enlaces
- El estado final puede ser de equilibrio químico

Mientras que los fenómenos asociados con el modelo Ma se caracterizan porque:

- Requieren nuevos instrumentos para la interacción entre radiación y materia
- Se refieren a interacciones cuantizadas
- Manipulan lo invisible mediante instrumentos específicos
- Se refieren a fenómenos moleculares
- Constituyen ciencias emergentes como la nanotecnología

Siguiendo a Izquierdo, es cierto que los dos modelos, Md y Ma, continúan siendo necesarios para explicar cómo funciona la química, pero hay que tener claridad que cada uno es útil para explicar un determinado conjunto de fenómenos y que no se pueden utilizar indistintamente, como anota P7 con preocupación (Enduran y Scerri, 2002). Así que otra vez aprovecho la oportunidad para resaltar la necesidad de que los profesores universitarios nos sentemos a discutir sobre temas tan fundamentales como este y que muchas veces pasan desapercibidos entre el cúmulo de información que queremos transmitir a nuestros estudiantes

Algo más que se pone en evidencia en este momento de la discusión es que mientras los profesores coinciden en la importancia de enseñar las propiedades de Ma, como por ejemplo, la carga nuclear efectiva, el radio, la energía de ionización, etc., los dos componentes directamente relacionados con el modelo Md: la química descriptiva o “química de las sustancias” y los laboratorios de química, han ido desapareciendo del currículo de química general.

1.10. Décima pregunta: ¿Cree usted que se pueden enseñar otros temas distintos a la química a través de la tabla periódica?

En resumen:

Los docentes consultados piensan que a través de la enseñanza de la tabla periódica se pueden abordar otros temas tales como:

- Propiedades físicas y lo que es la física. P1, P11
- Alquimia P12
- Historia P1, P2, P3, P4, P7, P9, P10, P12, P15, P16
- Filosofía P11, P15, P16
- Epistemología de las ciencias P11
- Aplicaciones industriales. P4
- Biología P11
- Matemáticas P11
- Metodología científica P7
- Vida cotidiana P11
- El orden y la belleza. P13
- Cultura Humana P11
- Cultura general P8

Sólo P6 contestó negativamente.

Los temas aludidos por los profesores en la décima pregunta de la entrevista se encuentran condensados en la tabla 17.

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Propiedades físicas	X									X				
Alquimia											X			
Historia	X	X	X	X		X		X	X		X		X	X
Filosofía										X			X	X
Epistemología de las ciencias										X				
Aplicaciones industriales				X										
Biología										X				
Matemáticas										X				
Metodología científica						X								
Vida cotidiana										X				
El orden y la belleza												X		
Cultura humana										X				
Cultura general							X							
No (nada)					X									

Tabla 17

El alto número de profesores que opinaron que podría enseñarse historia a través de la tabla puede deberse a que, en muchos casos, fue necesario motivar su respuesta. En más de una ocasión los profesores me contestaban con otra pregunta: “¿Cómo qué, por ejemplo?” a lo que yo respondía: “Historia o filosofía o mitología...”

Ya se discutió en el marco teórico la importancia de incluir la historia y la filosofía de las ciencias dentro de los programas de química, tanto en la formación de los futuros químicos, como en los cursos de química.

En el capítulo de innovaciones y propuestas incluiremos algunos comentarios sobre el juego didáctico “Sabelotodo de la Tabla periódica” que busca, precisamente, utilizar la tabla periódica como una puerta de entrada a otros campos del saber.

Sobre esta visión heurística de la ciencia nos identificamos con los planteamientos de Gorman, (1960) en cuanto a que:

“Los científicos deben aprender a enseñar ciencia en el espíritu de la sabiduría y a la luz de la historia del pensamiento humano y el esfuerzo humano”.

1.11. Undécima pregunta: ¿Qué considera más sobresaliente del trabajo de Dimitri Mendeleiev?

En resumen:

Respecto a Dimitri Mendeleiev y a su trabajo, los profesores opinan que lo más sobresaliente fue:

- Establecer esa ley de periodicidad y haber encontrado el modelo para explicarlo. P1
- Su osadía. P2
- Predicción de elementos no conocidos y que posteriormente fueron descubiertos. P2, P3, P4, P10, P11, P12, P16
- Su clasificación de tabla periódica, la ubicación de los elementos. P6, P13
- Su sistema perduró. P7, P8
- La capacidad para ver ese patrón, ese orden en la naturaleza. P8, P10
- La organización de acuerdo al número... Z... P9
- Haber encontrado un orden dentro de la historia P10
- La originalidad. P13
- No le encuentra mérito. P15

Las respuestas de los docentes a la última pregunta de la entrevista están resumidas en la tabla 18.

	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Establecimiento de la ley	X													
Su osadía		X												
Predicción de elementos		X	X	X					X	X	X			X
Clasificación de elementos					X							X		
Su sistema perduró						X	X							
Capacidad de ver el orden de la naturaleza							X		X					
Encontrar orden en la historia									X					
Originalidad												X		
Organización de acuerdo a Z								X						
No le encuentra mérito													X	

Tabla 18

Debido a la importancia de Dimitri Mendeleiev en la emergencia del objeto central de todo nuestro trabajo, la tabla periódica, en el capítulo de la discusión global de los resultados le dedicaremos un apartado especial a esta última pregunta de la entrevista.

2. La determinación de la FUNCIÓN

Para determinar la *función* que cada profesor asigna a la tabla periódica en sus cursos procedimos a correlacionar las tablas de respuestas. Las preguntas cuatro y ocho están relacionadas con la programación de los cursos, lo cual por lo general no depende de los profesores que enseñan las asignaturas. Por esta razón, estas dos preguntas no fueron tenidas en cuenta en el proceso de la determinación de la *función*.

De las nueve preguntas restantes, la uno y la dos abrieron el camino hacia la diversificación de las respuestas de los profesores entrevistados. Si bien todos manifiestan de una manera u otra que el propósito de la tabla periódica es sistematizar una gran cantidad de información sobre los elementos químicos para facilitar la comprensión y enseñanza de la química, cada uno deja entrever un interés especial que marca lo que denominaremos *funciones*.

Estas funciones, que por no ser absolutamente excluyentes no constituyen categorías, están definidas entonces, en primera instancia, por las razones aducidas por cada docente para considerar importante la inclusión de la tabla periódica en los cursos generales en la universidad y se van consolidando, especialmente, por aquello que consideran que se debe enseñar y el tipo de recursos materiales y didácticos que dicen que emplean para hacerlo.

La tabla 19 muestra las tres funciones caracterizadas por las razones que las sustentan:

Funciones	1 Didáctica						2 Organizativa				3 "Macro"			
	P10	P1	P2	P3	P6	P12	P7	P8	P9	P13	P4	P11	P15	P16
¿para qué?														
Entender y enseñar química	x	x	x	x	x	x								
Entender la química	x	x	x	x	x	x		x						
¿para qué?														
Organizar la información						x	x	x	x	x				x
Sistematizar la información							x		x	x		x	x	x
¿para qué?														
Conocer los elementos								x			x		x	
Explicar las sustancias											x	x		x

Tabla 19

Función didáctica: Entender y enseñar química. (P10, P1, P2, P3, P6, P12)

Función organizativa: Organizar y sistematizar la información. (P7, P8, P9, P13)

Función macro: Conocer los elementos y explicar las sustancias. (P4, P11*, P15, P16)

La función "macro" se diferencia de la organizativa en que la sistematización de la información tiene un objetivo particular: permitir la explicación del comportamiento químico de las sustancias. *Incluimos a P11 en este grupo ya que durante la entrevista manifestó que la tabla permitía explicar lo macro a partir de lo micro.

La tabla 20 resume las respuestas que no permiten discriminar la función que los profesores asignan a la tabla periódica, ya que son comunes a las tres.

Funciones	1 Didáctica						2 Organizativa				3 "Macro"			
	P10	P1	P2	P3	P6	P12	P7	P8	P9	P13	P4	P11	P15	P16
Sí se puede	x													
No se puede		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
¿qué enseñar?														
Propiedades periódicas	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	
Estructura y configuración electrónica			x		x	x			x		x	x		x
¿qué enseñar?														
La tabla	x			x		x		x	x	x			x	
¿qué más enseñar?														
Historia	x	x	x	x		x	x		x		x		x	x
Mendeleiev														
Predicción de elementos	x		x	x		x	-	-	-	-	x	x		x

Tabla 20

La tabla 20 muestra, en primer lugar, que excepto P10, todos los docentes consideran necesario el estudio de la tabla periódica en los primeros cursos de química en la universidad. La casi totalidad expresó que se deben explicar en este capítulo las propiedades atómicas, comúnmente llamadas "propiedades periódicas" y muchos espontáneamente añadieron que también se debe enseñar estructura atómica y configuración electrónica. La enseñanza de la lectura de la tabla en sí misma es otro de los temas comunes, especialmente entre la función didáctica y la organizativa.

Al ser interrogados acerca de cuales otros temas consideraban que se podían enseñar a través de la tabla periódica, la mayoría estuvo de acuerdo que la historia estaría bien. Sin embargo, como ya se dijo, esta respuesta pudo haber sido inducida por la entrevistadora, ya que para muchos la pregunta diez no era lo suficientemente explícita y clara y en más de una ocasión fue complementada dando como ejemplo, precisamente, la historia.

La otra generalidad que se encuentra en la tabla 20 tiene que ver con lo que los docentes consideran de mayor mérito en el trabajo de Mendeleiev. Varios profesores coincidieron en que la predicción de nuevos elementos era lo que había marcado su éxito. Curiosamente, ninguno de los profesores que priorizan el objetivo "organizativo" de la tabla periódica

señaló esta razón. Para estos cuatro profesores, en general, el mérito está en que “su sistema perduró”.

La tabla 21 muestra las principales características que ayudaron a vislumbrar la función que cada profesor asigna a la tabla periódica en su curso. Algunas de ellas aparecen en más de una de las funciones, pero se le ha asignado a aquella en la que se presenta como una respuesta común a la mayoría de profesores de ese grupo.

Funciones	1 Didáctica						2 Organizativa				3 “Macro”			
	P1	P2	P3	P6	P10	P12	P7	P8	P9	P13	P4	P11	P15	P16
¿para qué?														
Entender y enseñar química	x	x	x	x	x	x								
Entender la química	x	x	x	x	x	x		x						
¿qué enseñar?														
Otras propiedades	x		x											x
La ley					x									
Recursos materiales														
Tabla grande	x	x		x	x	x							x	
Estudiantes con tabla	x												x	
Videos	x		x					x						
Modelos					x									
Recursos didácticos														
Muchos ejemplos	x												x	
Sin tanto detalle			x											
Analogías	x	x				x			x					
Recuento histórico			x											
Demostración en clase						x						x		
Descriptiva														
Sí (algo)				x		x					x	x		
No		x	x		x			x	x				x	
Desvirtúa la química	x													
Bloque principal I y VII	x			x		x		x						
Opciones														
Orden histórico		x	x	x		x		x						
Buscar nuevas formas					x									
¿qué más enseñar?														
Propiedades físicas	x											x		

Alquimia						x								
Mendeleiev														
Establecimiento de la ley	x													
Su osadía		x												
Clasificación de elementos				x						x				
Encontrar orden en la historia					x									
¿para qué?														
Organizar la información						x	x	x	x	x				x
Sistematizar la información							x		x	x		x	x	x
Historia										x			x	
Recursos materiales														
Internet							x			x				
Recursos didácticos														
Hojas de trabajo										x	x			
Problemas, talleres	x			x	x		x	x	x	x				
Ejercicios										x				
Química Descriptiva														
Internet							x							
Depende del grupo										x				
Opciones														
A partir de la misma tabla								x		x				x
¿qué más enseñar?														
El orden y la belleza										x				
Metodología científica								x						
Cultura general										x				
Mendeleiev														
Originalidad										x				
Su sistema perduró								x	x					
Organización de acuerdo a Z										x				
¿para qué?														
Conocer los elementos										x			x	
Explicar las sustancias										x	x			
¿qué enseñar?														
Descriptiva		x				x					x		x	x
Historia										x			x	
Química descriptiva														
No puede ser un														x

Consideran que la tabla periódica permite entender y enseñar química. Además de las propiedades atómicas más comunes, piensan que se pueden incluir otras. Utilizan la tabla periódica grande, tradicionalmente presente en las aulas y laboratorios de química y como recursos adicionales prefieren los videos y los modelos. Varios de ellos recurren a las analogías como facilitadoras en la transposición didáctica. El orden histórico es su preferido. A Mendeleiev le reconocen mérito tanto como científico por el establecimiento de una ley que pusiera en orden los elementos químicos, como por su valor humano y su osadía.

Función	1.- Didáctica					
	P1	P2	P3	P6	P10	P12
¿para qué?						
Entender y enseñar química	x	x	x	x	x	x
Entender la química	x	x	x	x	x	x
¿qué enseñar?						
Otras propiedades	x		x			
La ley					x	
Recursos materiales						
Tabla grande	x	x		x	x	x
Estudiantes con tabla	x					
Videos	x		x			
Modelos					x	
Recursos didácticos						
Muchos ejemplos	x					
Sin tanto detalle			x			
Analogías	x	x				x
Recuento histórico			x			
Demostración en clase						x
Descriptiva						
Sí (algo)				x		x
No		x	x		x	

Desvirtúa la química	x					
Bloque principal				x		x
I y VII	x					
Opciones						
Orden histórico		x	x	x		x
Buscar nuevas formas					x	
¿qué más enseñar?						
Propiedades físicas	x					
Alquimia						x
¿Mendeleiev?						
Establecimiento de la ley	x					
Su osadía		x				
Clasificación de elementos				x		
Encontrar orden en la historia					x	

Tabla 22

2.- Función organizativa:

“Dios no puso las cosas al azar, las coloó de una forma perfectamente ordenadas y nosotros hasta ahora estamos empezando a comprenderlas. Esa (la tabla periódica) es la base solamente.” P13

Para este grupo la función principal de la tabla periódica es organizar y sistematizar la información. Destacan la importancia de enseñar a leer la tabla e interpretar la información que ella contiene. El internet es uno de los recursos preferidos por su permanente actualización y porque permite acceder fácilmente a las fuentes primarias. Dentro de los recursos didácticos están las que denominan hojas de trabajo, consistentes en tablas periódicas a medio llenar en las que los estudiantes complementan la información. Suelen comenzar el estudio de la tabla periódica a través de la tabla misma, y consideran que el mérito de Mendeleiev fue encontrar un sistema ordenador que perduró.

Entre ellos hay quienes opinan que a través de ella se puede apreciar “el orden y la belleza” y que constituye un ejemplo de un rigurosa metodología científica.

Función	2.- Organizativa			
	P7	P8	P9	P13
¿para qué?				
Organizar la información	x	x	x	x
Sistematizar la información	x		x	x
¿qué enseñar?				
La tabla		x	x	x
Historia				x
Recursos materiales				
Internet	x			x
Recursos didácticos				
Hojas de trabajo			x	x
Problemas, talleres	x	x	x	x
Ejercicios		x		
Química Descriptiva				
Internet	x			
Depende del grupo				x
Opciones				
A partir de la misma tabla		x		x
¿qué más enseñar?				
El orden y la belleza				x
Metodología científica	x			
Cultura general		x		
Mendeleiev				
Originalidad				x
Su sistema perduró	x	x		
Organización de acuerdo a Z			x	

Tabla 23

3.- Función “macro”:

Hoy se conocen 115 elementos químicos [...] y ya están descritos más de veinte millones de compuestos. Esto quiere decir que cada elemento tiene unas reglas de juego muy amplias, porque si no, evidentemente los químicos no se habrían molestado en sintetizar compuestos que son iguales unos a otros [...] Y claro, el químico se ha de plantear ¿va a ser posible tener unas ideas básicas, tener una estructura mínima para entender cómo funciona la química? Y, realmente, para esto el eje principal es la tabla periódica. O sea, resumiendo, yo hablaría de cuántos elementos tenemos, de su abundancia, de en dónde y cómo nos encontramos estos elementos, la importancia en la química de los seres vivos. P16

Estos docentes realzan la importancia de la sistematización de la información, pero como algo activo y permanente para explicar las sustancias (“Por tanto, cuántos más conocimientos tienes tú, más rendimiento le puedes sacar. Son conocimientos que tú has incorporado a aquella ordenación.”).

Consideran que la química debe asociarse a todo lo demás de la vida cotidiana. Por esta razón, algunos afirman que a través de la tabla periódica se pueden enseñar muchos otros temas y relacionar otros saberes. A pesar de que en algún momento dicen que no hay tiempo para la química descriptiva en estos cursos generales, sí hablan de las propiedades y las reacciones de algunos grupos de elementos. Utilizan diferentes formatos de tabla periódica y destacan entre ellos aquellos que muestran las sustancias simples en su estado natural. Prefieren los ejemplos a las analogías y consideran que a través de la tabla periódica se puede hablar de historia, filosofía y aplicaciones industriales.

Función	3.- Macro			
	P4	P11	P15	P16
¿para qué?				
Conocer los elementos	x		x	
Explicar las sustancias	x			
Relacionar la química con la vida cotidiana	x	x		
Organizar la información				x
Sistematizar la información		x	x	x
Mostrar el contexto histórico		x		
Conocer la historia de la química		x		
¿qué enseñar?				
La tabla			x	
Historia			x	
Otras propiedades				x
Descriptiva	x		x	x
Recursos materiales				
Varios formatos	x			x
Tabla por bloques	x			
Fotos de los elementos	x			x
Tabla grande			x	
Estudiantes con tabla			x	
Recursos didácticos				

Muchos ejemplos			X	
Demostración en clase		X		
Analogías-pocas			X	X
Descriptiva				
Si (algo)	X	X		
No			X	
Opciones				
A partir de la misma tabla				X
A partir de estructura	X	X		X
De lo concreto a lo abstracto		X		
Química descriptiva				
No puede ser un listín telefónico				X
Propiedades y ejemplo	X			
Un poco de cada bloque		X		X
H, O, S, C, Si	X			
¿qué más enseñar?				
Filosofía			X	X
Aplicaciones industriales	X			
Epistemología de las ciencias		X		
Biología		X		
Matemáticas				
Vida cotidiana				
Cultura humana				
Mendeleiev				
No le encuentra mérito			X	

Tabla 24

Ahora bien, al revisar una y otra vez tanto la entrevista como el cuestionario, se iba haciendo notorio que a pesar de que todos los docentes utilizaban palabras comunes como elemento, átomo, sustancia, no se referían a lo mismo. De hecho, algunos como P1, P2, P7, P4, P15, P16 y P11 usaron las tres, mientras que P3, P6, P12 y P13 nunca se refirieron a las

sustancias simples durante su discurso. Por el contrario, P8 y P10 nunca hablaron de átomos y P9 solamente utilizó el término elemento.

Similarmente, algunos se referían a propiedades periódicas, otros a propiedades atómicas y en algún caso a propiedades electrónicas.

La tabla 25 muestra un panorama de los conceptos aludidos por cada uno a lo largo de toda la primera entrevista.

	P10	P1	P2	P3	P6	P12	P7	P8	P9	P13	P4	P11	P15	P16
Elementos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Átomos		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
Sustancia (macro, materiales, lo que se ve, lo concreto)	x	x	x				x	x			x	x	x	x
Reacciones químicas		x	x	x	x		x	x				x	x	x
Compuestos		x	x	x						x	x	x	x	x
Hace referencia:														
Símbolos								x		x			x	
Modelos		x	x				x					x		
Configuración electrónica			x		x							x		x
Estructura atómica	x						x					x	x	x
Propiedades periódicas		x		x				x	x		x	x	x	x
Propiedades atómicas (de átomos)		x									x			
Propiedades electrónicas			x											
Niveles/subniveles											x	x		
Capas		x	x											
Abundancia													x	x
Tendencias		x	x				x							x
Ley		x										x		
Periodicidad		x					x		x					

Tabla 25

Por otra parte, como ya se comentó al hacer el análisis del cuestionario, la mayoría de los profesores entrevistados mostró una incoherencia entre la definición de elemento que considera correcta y la que enseña por primera vez (ver tabla 26, correspondiente a la tabla 4 del cuestionario), lo cual no ayudaba a clarificar lo que en definitiva significaba este concepto para cada quien.

Define elemento como:	P10	P1	P2	P3	P6	P12	P7	P8	P9	P13	P4	P11	P15	P16
Sustancia que no puede descomponerse		x			x	x		x	x	x	x			
Formado por átomos iguales			x									x		
Definido por Z	x			x			x		x				x	x
Lo enseña por primera vez como:														
Sustancia que no puede descomponerse	x	x	x		x		x	x	x					x
Formado por átomos iguales			x			x				x	x			
Definido por Z				x		x	x					x	x	

Tabla 26 (Correspondiente a la tabla 4 del cuestionario)

Estas observaciones, resumidas en las tablas 25 y 26, nos llevaron a hacer una segunda entrevista para poder acercarnos un poco más a la visión que cada uno tiene sobre el concepto elemento, tan estrechamente asociado al estudio de la tabla periódica.

Sección III: La visión de elemento

“Hay que distinguir entre la noción de cuerpo simple como sustancia homogénea aislada o como parte invisible, pero material, del cuerpo compuesto. El óxido rojo de mercurio no contiene dos cuerpos simples, un metal y un gas, sino dos elementos, Hg y O, lo que hay en ese óxido es “la sustancia de esos cuerpos simples” (como el pan encierra la sustancia del trigo y no el trigo en sí).”

Principios D. Mendeliev

1. Primer nivel de análisis: Construcción y prueba del instrumento

Como se observó al final del análisis de la primera entrevista, los conceptos de elemento, átomo y sustancia simple están íntimamente relacionados entre sí. Los tres aparecen repetidamente a lo largo de la encuesta y en cada una de las entrevistas realizadas a los profesores de química que participaron de esta investigación.

Tal como comentó P8: *“de verdad que se mete uno en problemas cuando trata de definirlo, encuentra las mismas palabras ¿no?”*

En particular, en la segunda entrevista sobre la enseñanza de la tabla periódica, en la que las últimas preguntas estaban expresamente dirigidas a concretar lo que para cada uno de los entrevistados significaba elemento, estos tres conceptos, elemento, átomo y sustancia simple, se entretajan a lo largo del discurso, unas veces como sinónimos, otras haciendo parte los unos de los otros en sus respectivas definiciones y otras como conceptos totalmente diferentes entre sí.

Considero importante anotar aquí que este trabajo sobre la enseñanza de la tabla periódica y, en particular, el cuestionamiento sobre un concepto tan básico como el de elemento, que

aparece por lo general en la primera unidad en los cursos generales de química, ha sido una oportunidad para que profesores y profesoras universitarios reflexionen sobre su propio quehacer docente, sobre el lenguaje que utilizan y sobre la consistencia de su conocimiento científico y la coherencia en su transposición didáctica.

He conservado en la transcripción de las entrevistas las risas, las expresiones de sorpresa y los comentarios espontáneos surgidos ante la pregunta:

¿Podría, por favor, definirme lo que es para usted un elemento?

O

¿Es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?

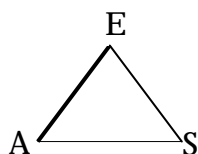
con el deseo de que cada vez los profesores y profesoras tomemos mayor conciencia de nuestra responsabilidad como mediadores en la construcción de una cultura científica.

1.1. Creación del instrumento

Para facilitar la visualización de la coherencia del discurso de cada profesor a lo largo de esta sección de la segunda entrevista, hemos propuesto un conjunto de símbolos que representan las distintas definiciones y relaciones manifestadas por los profesores en lo relativo a estos tres conceptos de nuestro interés.

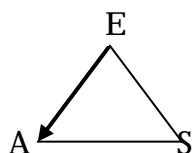
Teniendo en cuenta que se trata de tres conceptos relacionados entre sí, hemos escogido la figura de un triángulo equilátero, en el que cada uno de sus vértices corresponde a uno de los tres conceptos en cuestión.

Puesto que en nuestro caso el concepto elemento es el concepto estructurante de este trabajo, lo hemos colocado intencionalmente en el vértice superior del triángulo. De esta manera, destacamos la relevancia del concepto elemento y los otros dos quedan, visualmente, subordinados a él.

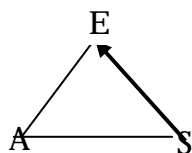


Las líneas sencillas de los lados representan, simplemente, que existe una relación entre los tres.

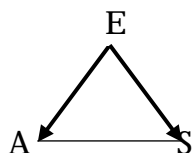
Una flecha en un solo sentido \longrightarrow significa que uno de los conceptos es definido o explicado en función del otro. Por ejemplo, cuando P6 manifiesta que: *“Un elemento está formado por átomos.”*



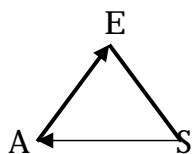
O cuando afirma que: *“Una sustancia está constituida por un elemento...”*



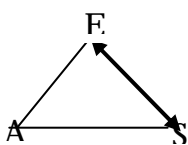
Dos flechas originadas en el mismo vértice significa que el concepto está relacionado simultáneamente con los otros dos. Esta situación aparece cuando, por ejemplo, P6 indica que: *“En el concepto de elemento hay que tener en cuenta que existen los isótopos, también el estado en que se encuentra.”*



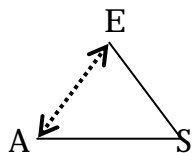
Cuando un concepto es explicado o definido en función de otro y este a su vez se relaciona con el tercero, las flechas indican el sentido de la relación. Un ejemplo de esa situación se tiene en la definición que da P7 de sustancia simple: *“... sustancia simple se refiere a una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento...”*



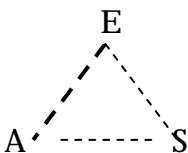
La flecha en doble sentido significa \longleftrightarrow que para el entrevistado, los dos conceptos señalados son equivalentes. Este es el caso de P6 cuando dice que: “*Un elemento químico es una sustancia...*” o cuando expresa que: “*Una sustancia simple... es un elemento.*”



Por el contrario, una doble flecha \longleftrightarrow punteada significa que el profesor expresamente ha manifestado que los dos conceptos indicados no son iguales. Así, cuando P6 explicita que: “*Elemento y átomo, no...*” (no son lo mismo) queda representado de la siguiente manera:



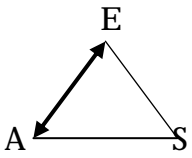
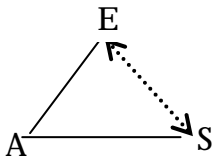
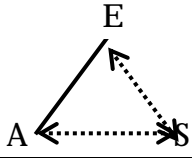
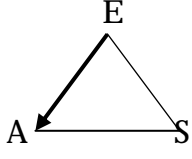
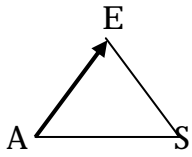
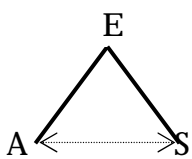
Finalmente, cuando el profesor no relaciona en su respuesta el concepto elemento ni con el de átomo ni con el de sustancia simple, como, por ejemplo, cuando P1 comenta que: “*...el elemento sería como el símbolo...*”, los lados del triángulo se han dibujado con líneas punteadas, indicando de esta forma gráfica que ha “desaparecido” cualquier relación directa entre estos tres conceptos. Esta representación es también utilizada, en general, cuando alguno de los conceptos está definido sin implicar a los otros dos.



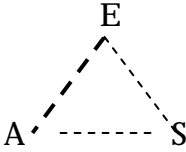
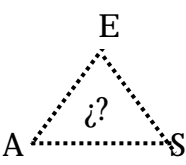
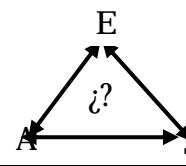
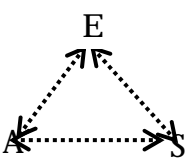
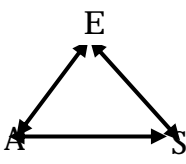
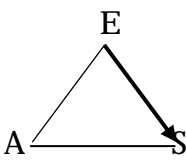
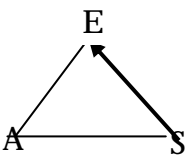
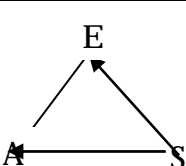
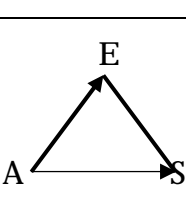
Esto nos lleva a un total de veintinueve símbolos para

representar gráfica y sintéticamente todas las relaciones posibles entre elemento, átomo y sustancia simple que los profesores han manifestado en las tres últimas preguntas de la segunda entrevista.

La tabla 1 contiene los veintinueve símbolos propuestos y su correspondiente lectura de acuerdo a lo que se ha detallado anteriormente. Se ha incluido además en la tabla un ejemplo de cada caso tomado de las entrevistas. Como ya se aclaró en la metodología, a pesar de que P5 y P14 fueron retirados del grupo investigado, las relaciones manifestadas por ellos se conservaron para no tener que rehacer todo el trabajo.

Relación	Símbolo de la relación	Lectura del símbolo
1		Los conceptos de elemento y átomo se consideran equivalentes o sinónimos. "Átomo y elemento pues son como muy sinónimos..." (P1)
2		Los conceptos de elemento y sustancia simple no son lo mismo. "el concepto de sustancia [...]no se refiere a un elemento." (P7)
3		El concepto sustancia simple es distinto del concepto elemento y del concepto átomo. "...sustancia simple sí es muy diferente de átomo y elemento..." (P1)
4		El concepto elemento está relacionado directamente con el de átomo. "Aunque el elemento tenga una combinación de diferentes números de masa, ¿no? de diferentes isótopos... ¿sería lo mismo o no?" (P3)
5		El concepto de átomo está relacionado directamente con el de elemento. "... precisamente por eso se definen los isótopos, que son átomos del mismo elemento pero con diferentes número de neutrones..." (P12)
6		El concepto de sustancia simple y sus propiedades son distintas al de átomo y sus propiedades. "... las propiedades de las partículas atómicas y las propiedades de la estructura macro, hay diferencias entre las propiedades..." (P7)

7		<p>El concepto de átomo es distinto al de elemento y sustancia simple. ¿El átomo distinto de elemento y de sustancia simple?</p> <p><i>“Sí, porque son cosas diferentes...” P14</i></p>
8		<p>El concepto de sustancia simple está asociado al de átomo a través del de elemento. (Grafito y diamante...) <i>“... es carbono, están constituidos por átomos...” (P11)</i></p>
9		<p>El concepto átomo está relacionado con el de sustancia simple y este, a su vez, con el de elemento. <i>“...entonces los isótopos son sustancias diferentes del mismo elemento...” (P1)</i></p>
10		<p>El concepto de sustancia simple está definido en función del de átomo, y átomo esta relacionado con el concepto elemento. <i>“... sustancia simple se refiere a una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento...” (P7)</i></p>
11		<p>El concepto átomo está relacionado con el de sustancia simple. <i>“Cuando hablas de un átomo hablas de una unidad de esa sustancia.” (P8)</i></p>
12		<p>El concepto de sustancia simple está relacionado con el de átomo. <i>“...cuando hablas de sustancia simple, el nombre está implicando muchos átomos...” (P8)</i></p>
13		<p>El concepto de átomo y sustancia simple se consideran sinónimos. <i>“Para mí un átomo es una sustancia simple.” (P14)</i></p>
14		<p>El concepto de elemento está relacionado simultáneamente con el de átomo y el de sustancia simple. <i>“En el concepto de elemento hay que tener en cuenta que existen los isótopos, también el estado en que se encuentra.” (P6)</i></p>
15		<p>El concepto de elemento es distinto del de átomo o el de sustancia simple. ¿Usted considera que es lo mismo átomo, elemento y sustancia simple?</p> <p><i>“Un elemento, no.” (P14)</i></p>

16		<p>El concepto de elemento no está relacionado ni con el de átomo ni con el de sustancia simple. <i>"...el elemento sería como el símbolo..."</i> (P1)</p>
17		<p>El concepto elemento no se define o no se sabe definir. <i>"...pues yo no sabría exactamente definir un elemento..."</i> (P4)</p>
18		<p>No sabe si los conceptos elemento, átomo y sustancia simple son equivalentes o iguales entre sí. <i>"...no sabría decirlo..."</i> (P11)</p>
19		<p>Los conceptos elemento, átomo y sustancia simple son diferentes entre sí. <i>"Elemento, átomo y sustancia simple.. humm... no..."</i> (P4)</p>
20		<p>Los conceptos elemento, átomo y sustancia simple son equivalentes o iguales entre sí. <i>"... sí es lo mismo..."</i> (P5)</p>
21		<p>El concepto de elemento está directamente relacionado con el de sustancia simple. <i>"Lo que hablábamos del carbono en forma de grafito y en forma de diamante."</i> (P6)</p>
22		<p>El concepto sustancia simple está relacionado directamente con el de elemento. <i>"Entonces tenemos grafito y diamante, pertenecen al mismo elemento."</i> (P1)</p>
23		<p>El concepto de sustancia simple está asociado simultáneamente al de elemento y al de átomo. <i>"...todo en el fondo está formado por átomos y por tanto, está formado por elementos."</i> (P16)</p>
24		<p>El concepto átomo está relacionado simultáneamente con los conceptos elemento y sustancia simple. <i>"Cuando hablas de un átomo hablas de una unidad de esa sustancia ¿cierto? O de ese elemento..."</i> (P8)</p>

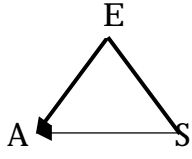
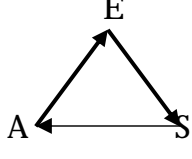
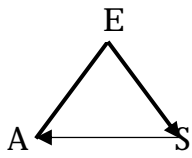
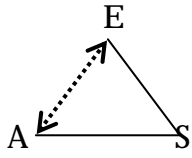
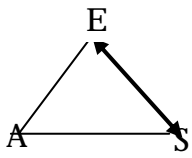
25		<p>El concepto de elemento y el de sustancia simple están asociados conjuntamente al de átomo. <i>"(los isótopos) ...son elementos o son sustancias que tienen átomos de carbono..."</i> (P11)</p>
26		<p>El concepto elemento está definido en función de sustancia simple, de átomo y finalmente en términos de sí mismo. <i>"Un elemento es una especie química que está constituida por átomos de él mismo..."</i> (P11)</p>
27		<p>El concepto de elemento está definido en términos de la sustancia simple y esta a su vez en función del concepto elemento. <i>"El elemento es una sustancia pura que está constituida por una sola clase de átomos."</i> (P10)</p>
28		<p>Los conceptos de elemento y átomo no son lo mismo. <i>"Elemento y átomo no es lo mismo. Elemento es diferente de átomo."</i> (P10)</p>
29		<p>Los conceptos de elemento y sustancia simple se consideran sinónimos o equivalentes. <i>"...elemento y sustancia simple sería lo mismo para mí..."</i> (P2)</p>

Tabla 1

En lo que respecta a la coherencia del discurso, como ya se definió en el marco teórico, ésta se valora en función de cómo el profesor mantiene su posición en las definiciones o relaciones, en este caso en particular, entre los conceptos elemento, átomo y sustancia simple a lo largo de su discurso.

1.2. Prueba del instrumento

A modo de ejemplo de cómo se hará la traducción de las entrevistas a este nuevo lenguaje de símbolos, que permitirá determinar fácilmente la visión de elemento de cada profesor y la coherencia de su discurso respecto al concepto elemento, hemos tomado el fragmento correspondiente a las tres últimas preguntas en la entrevista de P6.

E.- ¿Podrías, por favor, definirme lo que es para ti un elemento?

“Un elemento químico es una sustancia que se encuentra en la naturaleza. Una sustancia que no está combinada con nada. Un elemento es una sustancia que se encuentra en la naturaleza o que puede ser preparada artificialmente pero que no está combinada absolutamente con nada.”

E.- ¿Considera usted que es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?

“Elemento... no... un elemento puede estar formado por átomos. Está formado por átomos. Una sustancia simple.. es un elemento.”

E.- ¿Entonces serán lo mismo?

“Elemento y átomo, no. Elemento está formado por átomos ¿cierto? Un elemento está constituido por átomos, que tienen que tener las mismas características que tiene que tener el elemento. La sustancia simple... sí... uno dice hierro y es hierro. Estamos hablando de sustancia simple, compuesto es la mezcla. Sí, entonces es lo mismo.”

E.- Estoy elaborando un Diccionario de Química. ¿Podrías, por favor, darme las definiciones de elemento, átomo y sustancia simple?

“Un elemento es una sustancia que se encuentra en la naturaleza o es preparada artificialmente y que se encuentra en su estado elemental, solo, no combinado con nada. Átomo, un elemento es un conjunto de átomos de la misma clase, de la misma especie. Y sustancia sería lo mismo que elemento.”

E.- Entonces, si yo tengo carbono doce y carbono catorce, ¿son qué?

“Ah, lo que pasa es que un elemento puede tener varios tipos de.. tiene isótopos. Es decir, son diferentes el número de masa, son diferentes en los neutrones. Sí, ahí no estaba considerando el concepto de los isótopos. Un elemento puede tener varios isótopos.”

E.- ¿qué es lo que hace que sean el mismo elemento?

“Ah, pues el número atómico...”

E.- Tú me decías que elemento y sustancia es como lo mismo... ¿y si yo tengo diamante y grafito? Son dos sustancias diferentes...

“Sí, claro... entonces no podríamos definir sustancia como igual que un elemento. Habría que considerar otras características... (risas)”

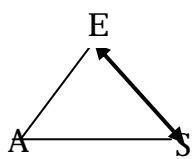
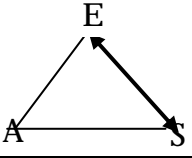
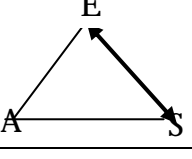
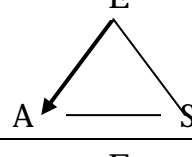
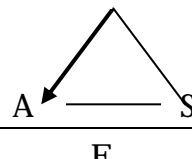
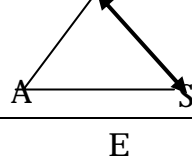
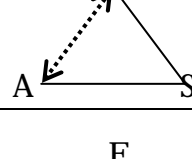
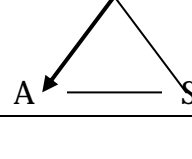
E.- El resumen para el diccionario...

“En el concepto de elemento hay que tener en cuenta que existen los isótopos, también el estado en que se encuentra. Lo que hablábamos del carbono en forma de grafito y en forma de diamante. Pero entonces la pregunta es si elemento, átomo y sustancia simple son la misma cosa. Bueno... entonces yo sigo diciendo, el elemento está formado por átomos, no importa a que tipo de isótopos nos estemos refiriendo. Pero entonces elemento y sustancia simple no serían la misma cosa, porque lógicamente por un lado están los isótopos y está el estado en que se encuentra. Una sustancia simple está constituida por un elemento que

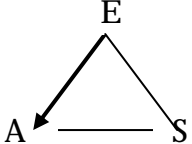
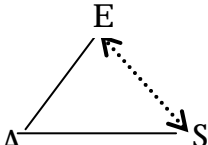
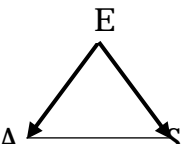
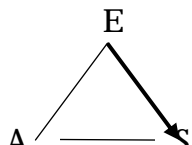
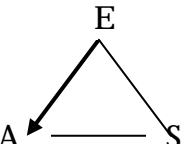
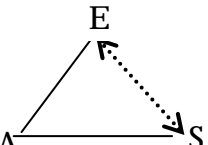
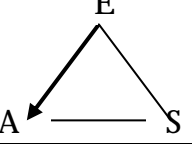
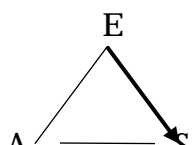
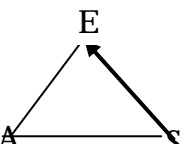
Capítulo 6

tiene el mismo número atómico pero que puede diferir de la otra en su número de neutrones o puede diferir en el estado en que se encuentra.”

Esta información se volcó en la tabla 2

Momento	Símbolo de la relación	Texto correspondiente
1		<i>Un elemento químico es una sustancia que se encuentra en la naturaleza.</i>
2		<i>Una sustancia que no esta combinada con nada.</i>
3		<i>Un elemento es una sustancia que se encuentra en la naturaleza o que puede ser preparada artificialmente, pero que no está combinada absolutamente con nada.</i>
4		<i>Un elemento puede estar formado por átomos.</i>
5		<i>Está formado por átomos.</i>
6		<i>Una sustancia simple... es un elemento.</i>
7		<i>Elemento y átomo, no. (No son lo mismo)</i>
8		<i>Elemento está formado por átomos.</i>

9		<p><i>Un elemento está constituido por átomos...</i></p>
10		<p><i>(átomos) que tienen que tener las mismas características que tiene que tener el elemento.</i></p>
11		<p><i>La sustancia simple, sí... (es lo mismo)</i></p>
12		<p><i>Sí, entonces es lo mismo.</i></p>
13		<p><i>Un elemento es una sustancia que se encuentra en la naturaleza o es preparada artificialmente y que se encuentra en su estado elemental, solo, no combinado con nada.</i></p>
14		<p><i>Átomo, un elemento es un conjunto de átomos de la misma clase, de la misma especie.</i></p>
15		<p><i>Y sustancia sería lo mismo que elemento.</i></p>
16		<p><i>... lo que pasa es que un elemento puede tener varios tipos de... tiene isótopos.</i></p>
17		<p><i>Un elemento puede tener varios isótopos.</i></p>

18		<p><i>¡Ah! Pues su número atómico... (hace que sean el mismo elemento)</i></p>
19		<p><i>... entonces no podríamos definir sustancia como igual que un elemento.</i></p>
20		<p><i>En el concepto de elemento hay que tener en cuenta que existen los isótopos, también el estado en que se encuentra.</i></p>
21		<p><i>Lo que hablábamos del carbono en forma de grafito y en forma de diamante.</i></p>
22		<p><i>... el elemento está formado por átomos, no importa a que tipo de isótopo nos estemos refiriendo.</i></p>
23		<p><i>Entonces un elemento y sustancia simple no serian la misma cosa...</i></p>
24		<p><i>... porque por un lado están los isótopos...</i></p>
25		<p><i>Y está el estado en que se encuentra.</i></p>
26		<p><i>Una sustancia simple está constituida por un elemento...</i></p>

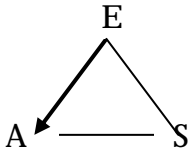
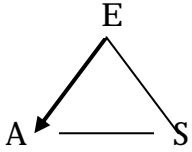
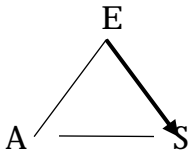
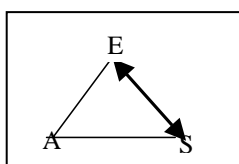
27		<i>(elemento) que tiene el mismo número atómico...</i>
28		<i>... que puede diferir de la otra en su número de neutrones...</i>
29		<i>... o puede diferir en el estado en que se encuentra.</i>

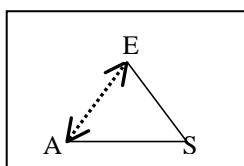
Tabla 2

Debido a que algunas de las relaciones simbolizadas en la tabla 1 pueden originarse en expresiones muy parecidas, pero no idénticas, a continuación analizaremos detalladamente cada una de ellas mencionadas durante la entrevista. Las relaciones se han numerado de acuerdo a lo detallado en la tabla 1.

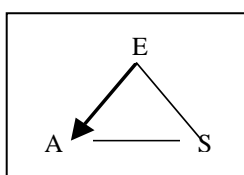


una visión de elemento como sustancia.

La relación número 29 indica que para P6 sustancia y elemento son una misma cosa. Esta relación está manifiesta ocho veces durante la entrevista en los momentos 1, 2, 3, 6, 11, 12, 13 y 15, mostrando

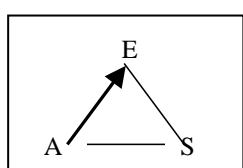


La relación número 28, explicitada en el momento 7 de la entrevista ratifica la posición de P6 en cuanto que elemento es sinónimo de sustancia simple mas no de átomo.

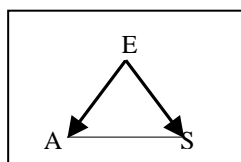


La relación número 4, indica que el concepto elemento se asocia de alguna manera con el concepto átomo. P6 utiliza esta relación 11 veces. De esos 11 momentos, los momentos 4, 5, 8, y 9 en los que P6 manifiesta que “Un elemento está formado por átomos...” y en el 22 donde añade que “... no

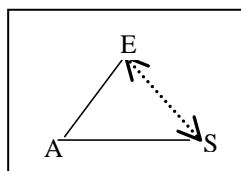
importa a que tipo de isótopos nos estemos refiriendo...” P6 mantiene su posición sustancialista, ya que se está refiriendo al elemento como un todo, macroscópico, constituido de unas partes llamadas átomos. En cambio, los momentos 16, 17, 24, 27 y 28 esta relación es utilizada para indicar que un mismo elemento puede presentarse en la naturaleza con el mismo número de protones pero con distinto número de neutrones, como afirma P6, dando lugar a los isótopos. Igualmente, tal como afirma en el momento 18, lo que caracteriza y define un elemento químico es su número atómico.



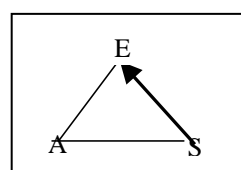
La relación número 5 indica que el concepto de átomo está asociado al de elemento. En el caso particular de P6 esta relación aparece en dos momentos. El momento 10 para indicar que todos los átomos de un elemento deben tener las características de tal elemento. En el momento 14, al solicitarle a P6 la definición de átomo, su respuesta está dada en términos de elemento: *“Un elemento es un conjunto de átomos de la misma clase..”* lo cual es otra forma de reafirmar lo dicho en el momento 10, es decir que los átomos de un elemento tienen unas características propias.



La relación 14 asocia el concepto de elemento simultáneamente al de átomo y al de sustancia simple. Lo expresado por P6 en el momento 20 al utilizar esta relación es consistente con el hecho de que un mismo elemento puede presentarse en forma de varios isótopos y en distintas formas alotrópicas.

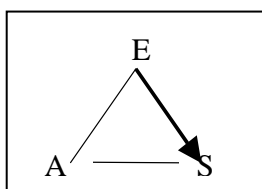


La relación 2 implica que elemento y sustancia simple no son equivalentes. P6 reconoce esta diferencia en los momentos 19 y 23, cuando después de discutir sobre isótopos y alotropos comienza una reflexión metacognitiva que le lleva a modificar su posición mantenida hasta el momento 15 de la entrevista.



La relación 22 conecta el concepto de sustancia simple con el de elemento. P6 la utiliza en el momento 26, casi al final de la

entrevista, cuando ya ha cambiado su posición de que elemento y sustancia simple son lo mismo. En este momento elemento tiene carácter de parte constitutiva de un todo. P6 dice: “Una sustancia simple está constituida por un elemento...” con lo cual, se evoca más la idea de átomo que de sustancia simple.



La relación 21 que se refiere al elemento en términos de la sustancia simple, es utilizada por P6 en los momentos 21, 25 y 29 al referirse a las distintas formas alotrópicas en que puede presentarse un elemento en la naturaleza.

La tabla 3 resume la frecuencia de las relaciones entre los tres conceptos manifestada por P6, durante esta sección de la entrevista. Los tipos de relación mencionados y el número de veces que se hace alusión a cada uno de ellos van revelando el pensamiento del profesor y la coherencia de su discurso.

Símbolo de la relación	Frecuencia	Momentos
	8	1,2,3,6,11, 12,13,15
	1	7
	11	4,5,8,9, 16, 17, 18, 22,24,27,28
	2	10, 14
	1	20

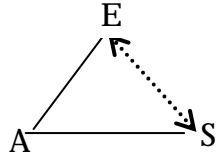
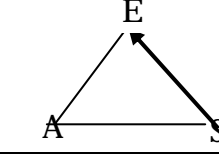
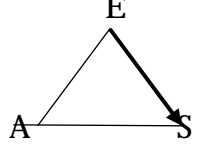
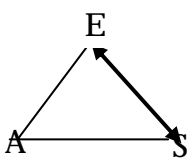
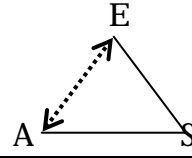
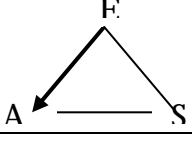
	2	19, 23
	1	26
	3	21,25,29

Tabla 3

Finalmente, la tabla 4 permite seguir el discurso de P6 en el tiempo, mostrando cómo, hasta el momento 15 mantenía su posición coherente de que elemento y sustancia simple eran una misma cosa. A partir del momento 16 y a raíz de la discusión sobre los isótopos, P6 comienza a modificar su posición y finalmente terminar “pensando en voz alta” que elemento y sustancia simple no pueden ser la misma cosa.

Símbolo de la relación	Momentos																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	x	x	x			x					x	x	x		x														
							x																						
				x	x			x	x						x	x	x			x		x				x	x		

fueron generando procesos metacognitivos que llevaron a la reflexión sobre ciertas concepciones erróneas, que fueron modificadas durante la entrevista.

Como en el caso de P6, lo primero que se hará para cada uno será traducir la parte correspondiente de esta segunda entrevista a la representación simbólica detallada en la tabla 1. En segundo lugar, se analizará cada una de las relaciones referidas por el docente. Esta información será trasladada entonces a una tabla de relaciones, frecuencias y momentos en los que se manifiesta cada relación. Finalmente, todo el análisis se condensará en una tabla que permita, como la tabla 4, seguir la coherencia o incoherencia a lo largo de todo el discurso del profesor en esta parte de la investigación.

2. Segundo nivel de análisis: Acercamiento a la visión de elemento

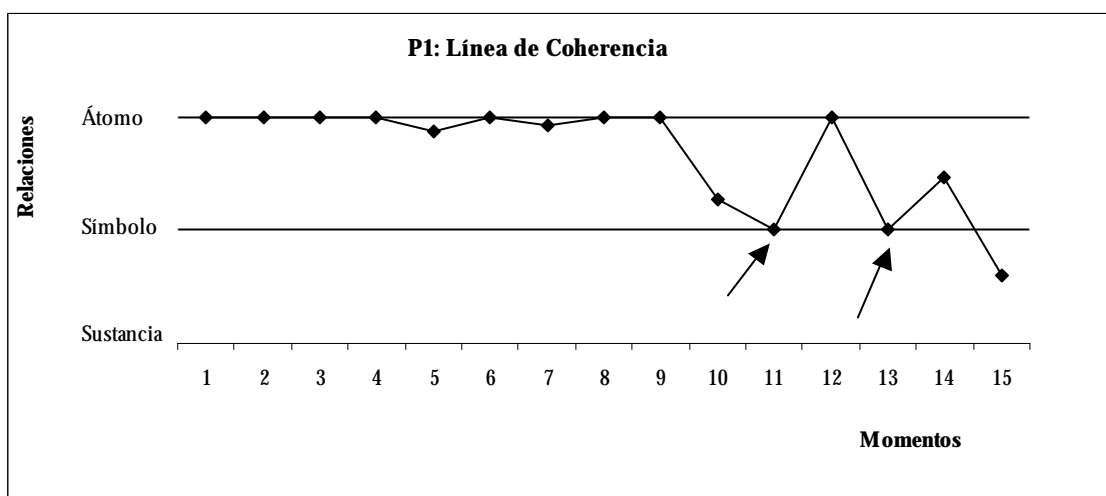
Para acercarnos a la visión que cada profesor tiene de lo que es un elemento químico, se realizó con todos el mismo proceso que con P6. Posteriormente, las tablas de coherencia se convirtieron en líneas de coherencia, como se verá a continuación.

2.2. De las tablas a las líneas de coherencia

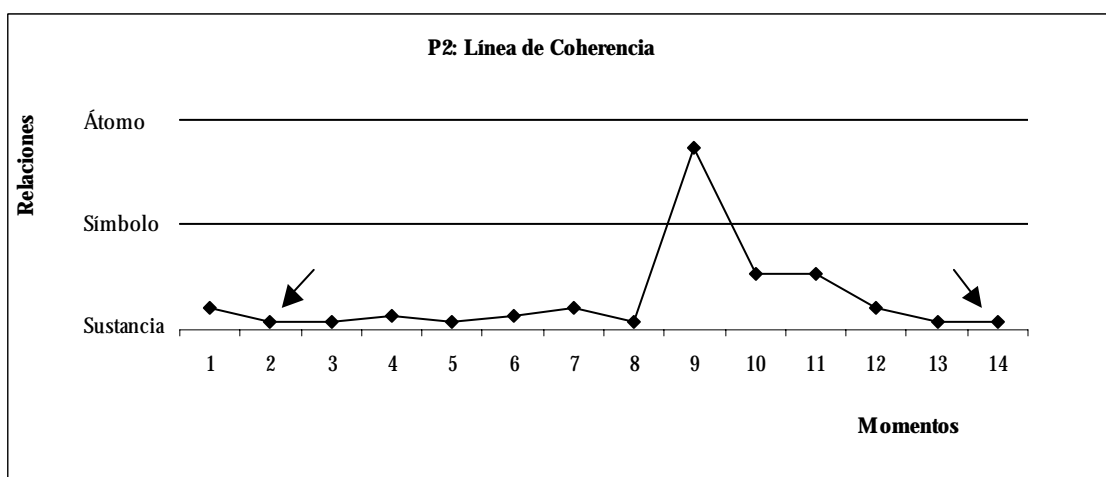
Como ya se dijimos, una vez desglosadas y analizadas las entrevistas, cada una se condensó en lo que hemos llamado una Tabla de Coherencia. Estas tablas nos permitieron tener una impresión de la visión que cada profesor tiene del concepto elemento y de la coherencia de su discurso. Además, el uso común de un tipo determinado de relaciones nos llevó, como se verá a continuación, a la clasificación de los docentes de acuerdo a las cinco visiones descritas anteriormente.

Para facilitar la visualización de la coherencia de la visión de cada profesor, se graficaron las relaciones utilizadas en los distintos momentos de la entrevista, manteniendo la numeración explicitada en la tabla 1. De esta manera, el discurso de cada profesor se representa mediante una línea continua que permite, por una parte, acercarnos a la visión de elemento que tiene cada profesor y por otra, determinar la coherencia de su discurso.

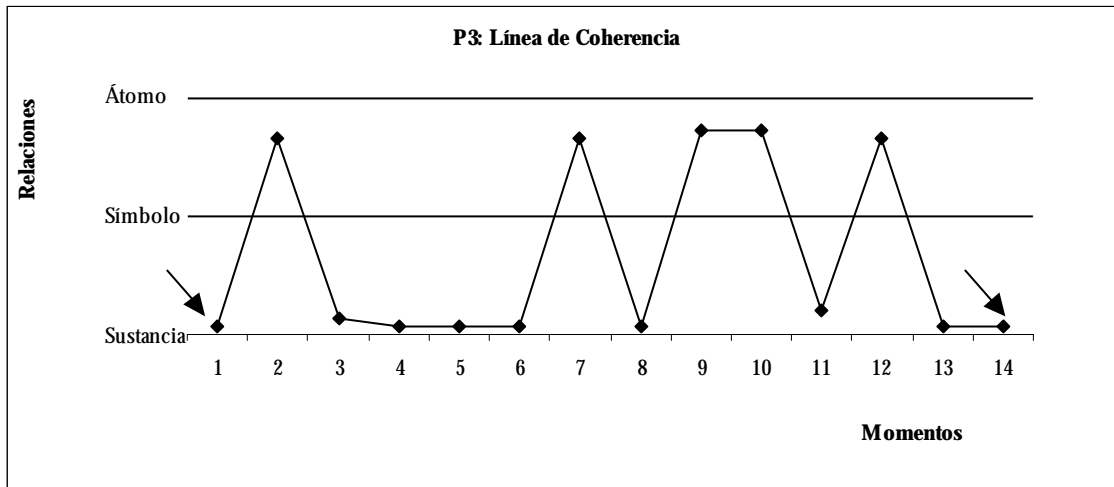
A continuación presentamos las líneas de coherencia basadas en las tablas de coherencia de los catorce docentes que completaron todas las etapas de esta investigación. En cada una se han señalado los momentos correspondientes a las respuestas que identifican de manera más explícita la visión del profesor. Igualmente, se hace notar cuando las respuestas con respecto a la definición de elemento son muy dispersas o cuando no lo definen o dicen no saberlo definir.



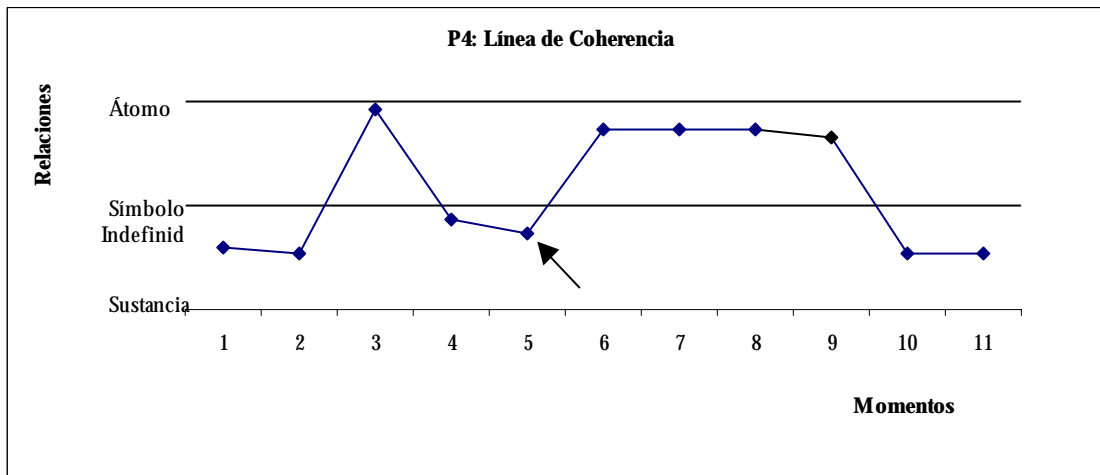
Gráfica 1: P1



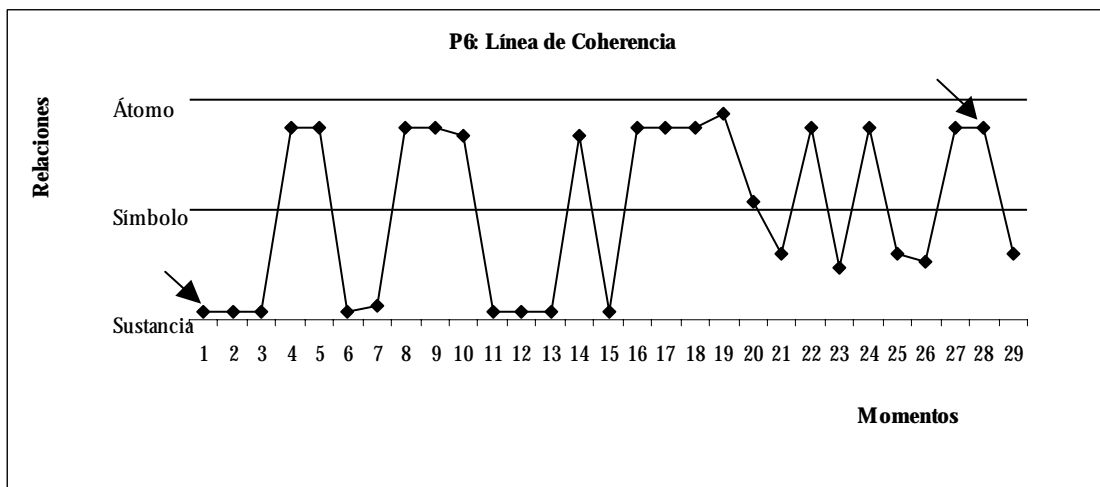
Gráfica 2: P2.



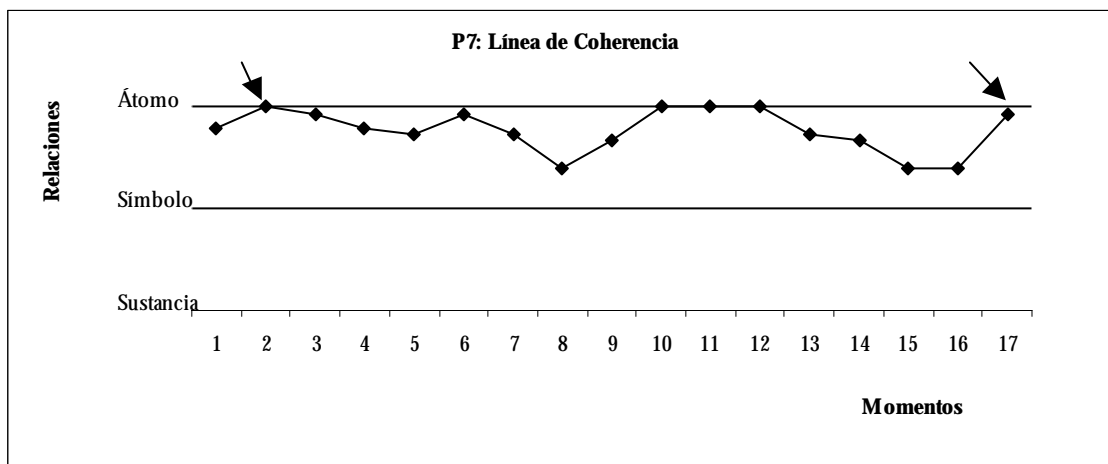
Gráfica 3: P3



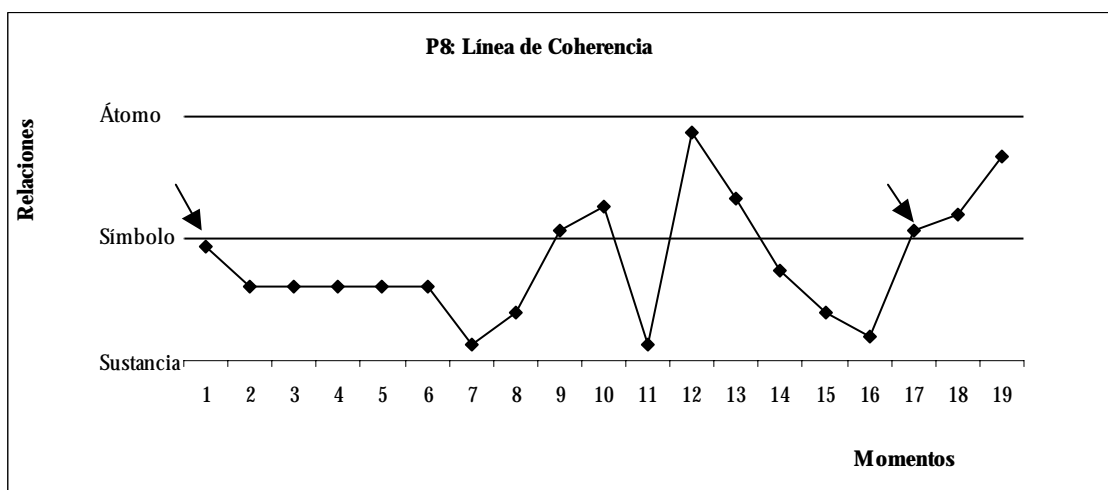
Gráfica 4: P4



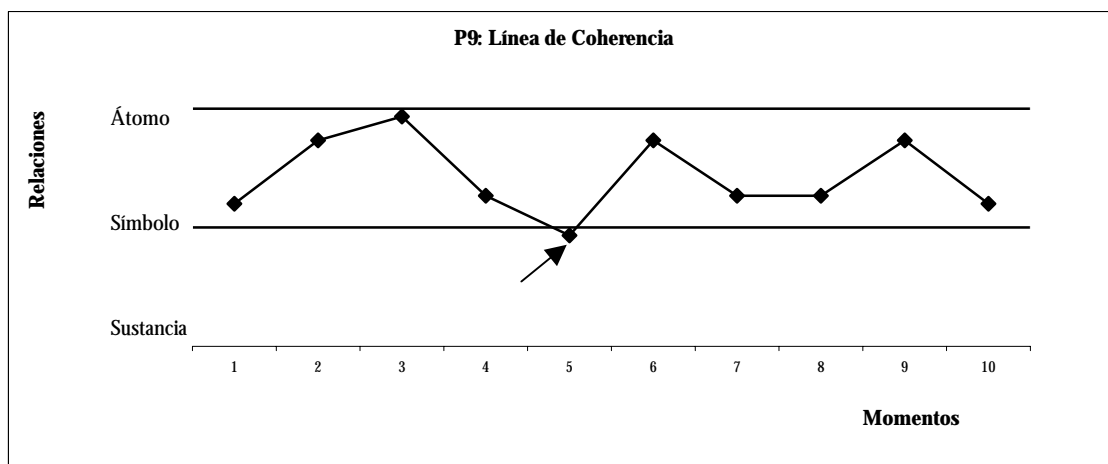
Gráfica 5: P6



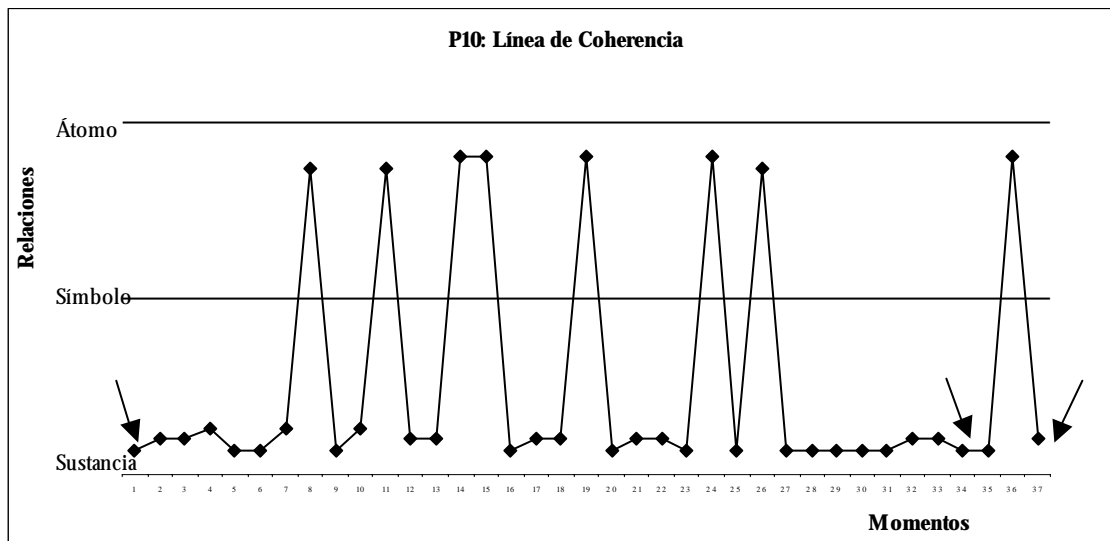
Gráfica 6: P7



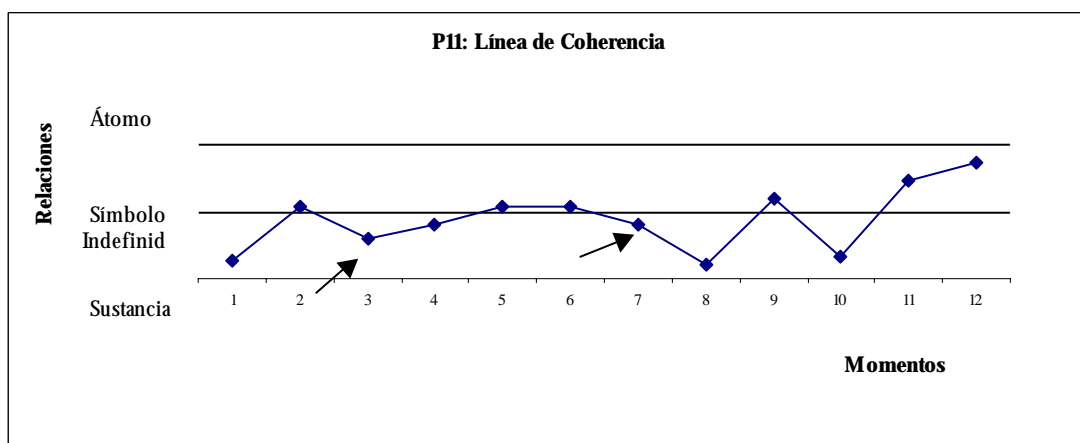
Gráfica 7: P8



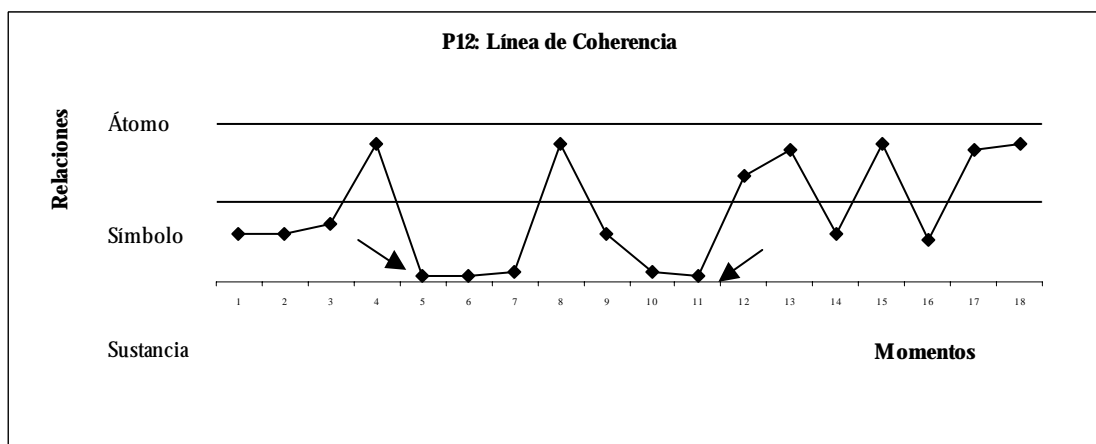
Gráfica 8: P9



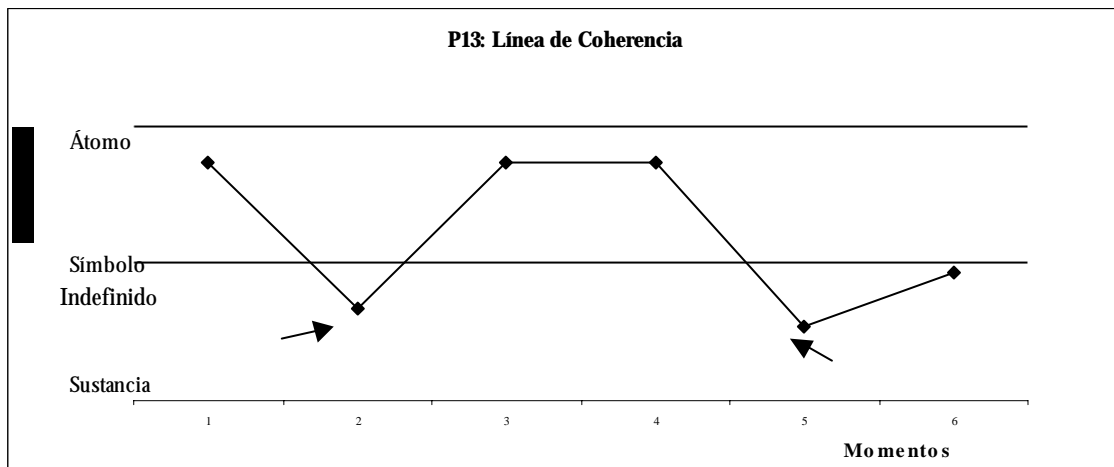
Gráfica 9: P10



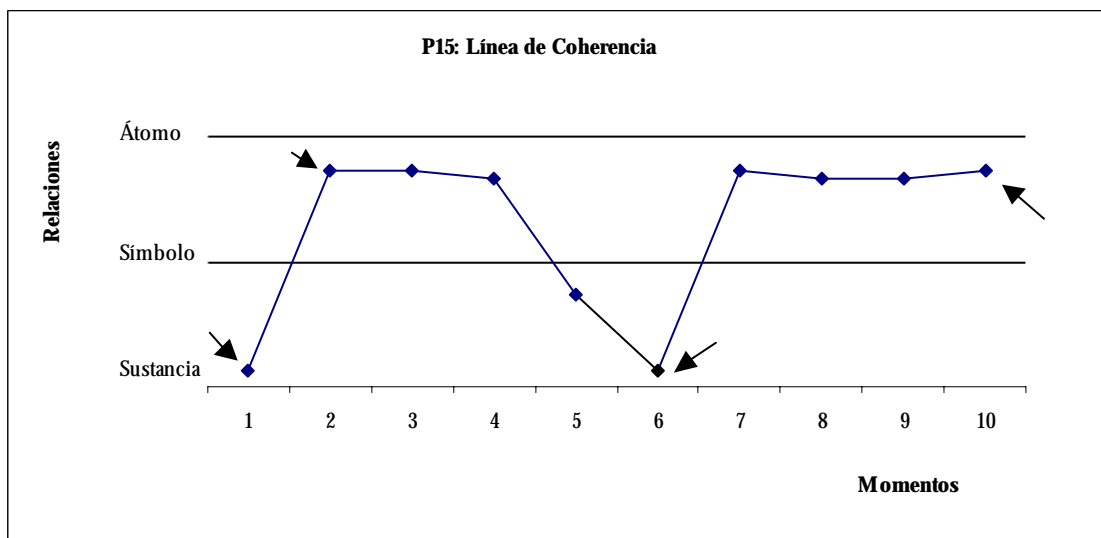
Gráfica 10: P11



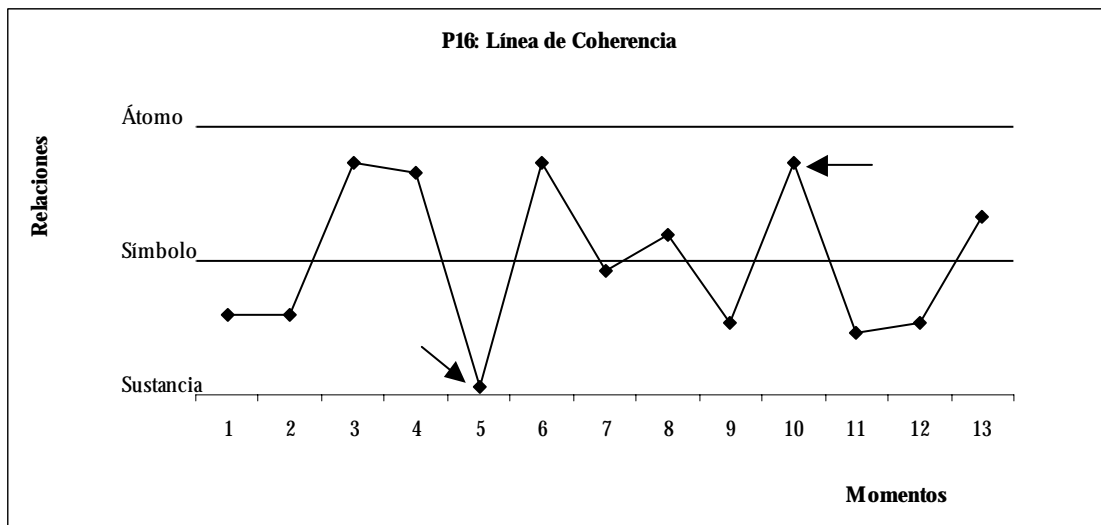
Gráfica 11: P12



Gráfica 12: P13



Gráfica 13: P15



Gráfica 14: P16

Puesto que la lectura de todo el proceso para los dieciséis profesores puede resultar un poco engorrosa, sólo se presentará el proceso completo para un profesor de cada “visión”. El análisis detallado de todos los entrevistados se encuentra en el anexo 5.

Los profesores escogidos como ejemplos paradigmáticos son:

- P2: Elemento como sustancia simple.
- P7: Elemento como átomo.
- P15: Elemento como especie.
- P1: Elemento como símbolo.
- P4: Elemento indefinido.

2.3. Ejemplos paradigmáticos de las cinco visiones

A continuación detallamos un ejemplo de cada visión encontrada.

2.3. 1. Elemento como sustancia

P2:

E.- ¿Podría, por favor, definirme lo que es un elemento?

Humm... esa pregunta es capciosa, pero yo respondería que un elemento es una sustancia formada por un solo tipo de átomo.

E.- ¿Considera usted que es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?

No... para mí, cuando yo pienso en elemento, yo pienso en la sustancia simple. O sea, elemento y sustancia simple sería lo mismo para mí. Pero elemento y átomo, no. Elemento es la sustancia que uno encuentra en la naturaleza, que uno sabe o que uno averigua que no la puede descomponer en partes más simples. Pero, cuando uno habla de descomponerla, se refiere a otras sustancias, no se refiere a descomponerla en átomos a partir de los cuales se forman los elementos, pero un átomo no es un elemento, me parece a mí.

E.- ¿Podría por favor definirme elemento, átomo y sustancia simple?

Bueno yo definiría elemento como una sustancia formada por un solo tipo de átomo. Punto. Átomo lo definiría como un ente estable conformado por un núcleo y un número de electrones ligados a ese núcleo. Para mí sustancia simple es lo mismo que elemento.

E.- Y ¿qué pasa entonces cuando uno tiene isótopos?

Sí, usted tiene razón. Cuando uno habla... o sea, las definiciones que yo he dado implican una definición previa. La definición de elemento implica una definición previa de átomo, y cuando definí átomo usé la palabra núcleo. Entonces, tendríamos que entrar a definir el núcleo, y lo que... para la química lo que diferencia un núcleo del otro, es el número de protones, o sea, el número atómico. Entonces, habría también que especificar eso. O sea, químicamente, dos núcleos con el mismo número de protones son equivalentes, pero si tienen diferente número de protones, entonces no lo son. Entonces, los isótopos tienen las mismas propiedades químicas.

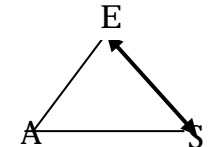
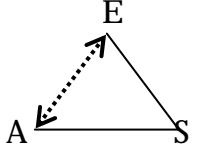
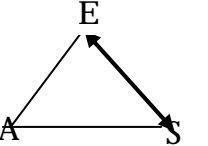
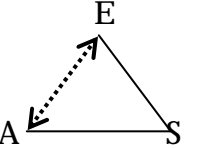
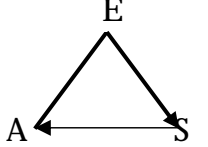
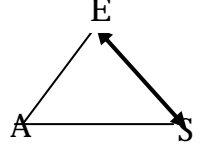
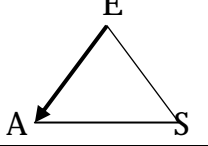
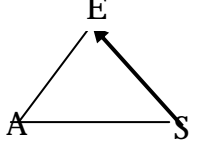
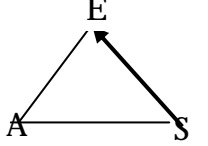
E.- O sea, un elemento formado por átomos iguales... o sea, que tengan el mismo número atómico, aunque sean isótopos distintos. Bueno, y si elemento y sustancia simple son lo mismo, ¿qué pasa con los alótropos? Por ejemplo, grafito y diamante... Porque son sustancias elementales diferentes, con propiedades diferentes...

Pero son el mismo elemento. Por ejemplo, hay potasio blanco y me parece que el otro es potasio negro, si mal no recuerdo, tienen estructuras cristalinas... o lo mismo con el azufre, no importa eso, creo que uno es S ocho, y el otro es S algo distinto... bueno... pero están formados por el mismo elemento, y no se pueden descomponer en sustancias más simples, entonces cabría dentro de la definición...

Yo pondría, elemento, sustancia formada por un solo tipo de átomo y pondría un asterisco en el átomo o algo así para indicar que hay que ir a mirar qué es átomo. Entonces, en átomo, de acuerdo a la discusión que acabamos de tener, yo diría que un átomo está caracterizado por un núcleo, que a su vez está caracterizado por su número atómico, que es su número de protones, y un enjambre de electrones, que están organizados alrededor de ese núcleo central formando una estructura estable. Pues, sustancia simple es lo mismo que elemento, sólo que allí uno está haciendo énfasis en la operación química de descomponer, pero... Una sustancia simple yo la definiría como una sustancia que no se puede descomponer en sustancias más simples, pero esa definición realmente es circular, porque si yo digo que una sustancia simple es la que no se puede descomponer en sustancias más simples, estoy usando lo que quiero definir dentro de la misma definición. Entonces, a mí por eso... yo preferiría decir que sustancia simple y elemento es lo mismo.

Para comenzar el análisis de la entrevista de P2, esta se transfirió a la tabla 5.

Momento	Símbolo de la relación	Texto correspondiente
1		<i>...un elemento es una sustancia formada por un solo tipo de átomo.</i>
2		<i>...cuando yo pienso en elemento, yo pienso en la sustancia simple.</i>

3		<p><i>O sea, elemento y sustancia simple sería lo mismo para mí.</i></p>
4		<p><i>Pero elemento y átomo, no.</i></p>
5		<p><i>Elemento es la sustancia que uno encuentra en la naturaleza, que uno sabe o que uno averigua que no la puede descomponer en partes más simples.</i></p>
6		<p><i>...un átomo no es un elemento, me parece a mí.</i></p>
7		<p><i>...elemento como una sustancia formada por un solo tipo de átomo...</i></p>
8		<p><i>Para mí sustancia simple es lo mismo que elemento...</i></p>
9		<p><i>La definición de elemento implica una definición previa de átomo.</i></p>
10		<p><i>(Por ejemplo, grafito y diamante... son sustancias elementales diferentes, con propiedades diferentes...) Pero son el mismo elemento.</i></p>
11		<p><i>...o lo mismo con el azufre[...]pero están formados por el mismo elemento...</i></p>

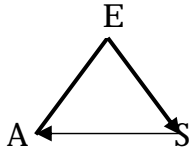
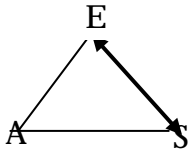
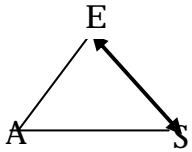
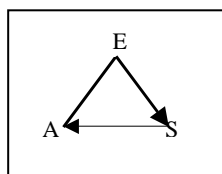
12		<i>...elemento, sustancia formada por un solo tipo de átomo</i>
13		<i>...sustancia simple es lo mismo que elemento...</i>
14		<i>...yo preferiría decir que sustancia simple y elemento es lo mismo.</i>

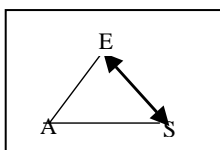
Tabla 5

Una primera mirada a la tabla 5 sugiere que P2 tiene una visión de elemento como sustancia, es decir, para P2 elemento y sustancia simple son una misma cosa.

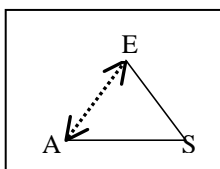
A continuación realizamos un análisis de las relaciones utilizadas por P2.



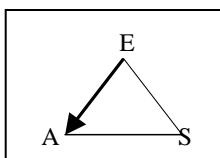
La relación 27, utilizada por P2 en los momentos 1, 7 y 12 de la entrevista, describe un elemento como una sustancia compuesta por un tipo de átomo, lo cual, como ya se ha comentado, pone en evidencia su visión de elemento como sustancia.



La relación 29, expuesta explícitamente por P2 en los momentos 2, 3, 5, 8, 13 y 14 ratifica su pensamiento en cuanto a que elemento y sustancia simple son lo mismo.

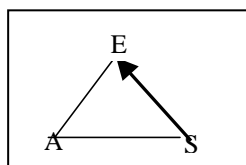


La relación 28, que indica que elemento es distinto que átomo, la utiliza P2 en los momentos 4 y 6, reforzando así su posición.



La relación 4 es aludida por P2 en el momento 9 cuando dice que: *“La definición de elemento implica una definición previa de átomo.”* Esta

manifestación es correcta en cuanto que un elemento está definido, en últimas, por su número atómico, el cual es una característica del átomo.



La relación 22 aparece en los momentos 10 y 11 cuando P2 se refiere a que las distintas formas alotrópicas están formadas por un mismo elemento.

La tabla 6 contiene las relaciones, frecuencias y momentos en que son encontrados en esta parte de la entrevista de P2.

Símbolo de la relación	Frecuencia	Momentos
	3	1,7,12
	6	2,3,5,8 13,14
	2	4,6
	1	9
	2	10,11

Tabla 6

La tabla 7 resume el discurso de P2, mostrando su posición coherente con su propia visión de elemento como sinónimo de sustancia.

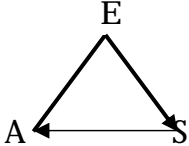
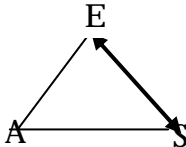
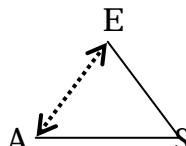
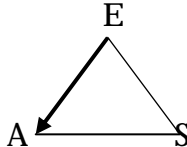
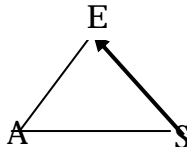
Símbolo de la relación	Momentos													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	x						x					x		
		x	x		x			x					x	x
				x		x								
										x				
										x	x			

Tabla 7

2.3.2. Elemento como átomo

P7 fue el primer profesor entrevistado. La entrevista se realizó en su oficina y, a pesar de varias interrupciones inevitables, mantuvo un discurso coherente todo el tiempo.

A continuación se transcribe el fragmento relacionado con los tres conceptos en mención.

E.- ¿Podrías definirme lo que es para ti un elemento?

“Definir un elemento... si porque uno da la definición en términos de la pregunta, y eso es como... un concepto de elemento está digamos muy relacionado digamos con el concepto de átomos...eh... no está...digamos, para mí un concepto de elemento es un concepto microscópico antes que un concepto macroscópico, está más definido en términos pues de... nuevamente bajo la definición de cuántos electrones protones hay en una determinada estructura de un átomo, ¿sí? Y eso lo hace clasificar como un átomo de

un elemento o de otro. Yo no uso el concepto elemento eh.. para hablar de.. digamos de cantidades macro de una especie, así sea elemental, porque en primer lugar, típicamente en forma natural y en la gran mayoría de aplicaciones, los átomos de ese elemento vienen combinados ¿sí? Formando moléculas o formando estructuras iónicas, o lo que quieras... eh... y en segundo lugar, porque a pesar de que hay digamos relaciones...así el material que uno tenga en una cierta cantidad macro esté formado por exclusivamente por átomos de un solo elemento, o sea una sustancia macro elemental, las propiedades de las partículas atómicas y las propiedades de la estructura macro, hay diferencias entre las propiedades, cuando pasas del mundo micro, del mundo digamos nano, de la escala nano a la escala de los milímetros hacia arriba, hay diferencias..”

E.- ¿consideras que es lo mismo átomo, elemento y sustancia simple?

“No, es decir, para mí de todos modos el concepto de elemento y átomos están ligados,¿sí? En el sentido en que átomo es una estructura, aunque es otro de mis problemas con el concepto de estructura que se define a partir de sus propiedades. Para mí entonces un elemento es definido sencillamente como una estructura atómica diferenciada de otros átomos, que se diferencia de otros átomos, o sea un elemento es una estructura atómica caracterizada por tener un número atómico N y un número n de electrones y un número n de protones. Átomo es una de esas estructuras de ese elemento, pero el concepto de sustancia simple para mí es un concepto macro, no es un concepto micro y nanoscópico ni subnanoscópico, es un concepto mucho más macro. Y eso sí, la interpretación de eso sí es a libre albedrío porque ¿qué se entiende por una sustancia simple? ¿Una sustancia que está formada por átomos del mismo elemento?¿sí? y que en consecuencia digamos una porción de materia suficientemente grande, una cierta cantidad de materia suficientemente grande, un número grande de átomos de un mismo elemento ¿sí? O una sustancia simple uno podría también entender como una estructura molecular en la que ya no hay átomos de un mismo elemento sino que puede haber átomos de dos elementos...no sé.. Para mí el concepto, digamos, de sustancia simple se refiere más a, de pronto, a una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento, mas no se refiere a un elemento.”

La tabla 8 recoge todos los momentos en que P7 aludió a los tres conceptos y las relaciones que establece entre ellos.

Momento	Símbolo de la relación	Texto correspondiente
1		<i>“... un concepto de elemento está digamos muy relacionado con el concepto de átomos.”</i>
2		<i>“...un concepto de elemento es un concepto microscópico...”</i>
3		<i>“...antes que un concepto macroscópico...”</i>

4		<p><i>“(elemento) está más definido en términos de la definición de cuántos electrones, protones hay en una determinada estructura de un átomo...”</i></p>
5		<p><i>“...eso lo hace clasificar como un átomo de un elemento...”</i></p>
6		<p><i>“Yo no uso el concepto elemento para hablar de cantidades macro de una especie, así sea elemental...”</i></p>
7		<p><i>“...los átomos de ese elemento vienen combinados...”</i></p>
8		<p><i>“... así el material que uno tenga en una cierta cantidad macro esté formado por exclusivamente por átomos de un solo elemento, o sea una sustancia macro elemental...”</i></p>
9		<p><i>“... las propiedades de las partículas atómicas y las propiedades de la estructura macro, hay diferencias entre las propiedades...”</i></p>
10		<p><i>“...el concepto de elemento y átomos están ligados...”</i></p>
11		<p><i>“...un elemento es definido sencillamente como una estructura atómica...”</i></p>
12		<p><i>“...un elemento es una estructura atómica caracterizada por tener un número atómico N y un número n de electrones y un número n de protones.”</i></p>

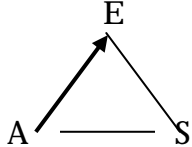
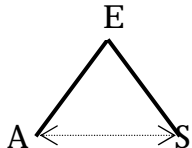
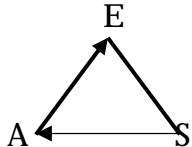
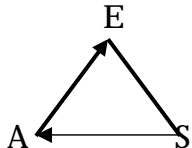
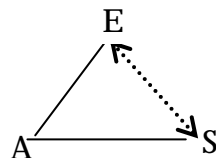
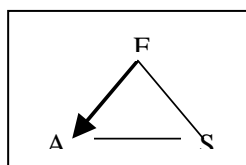
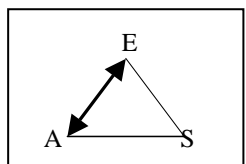
13		<i>“Átomo es una de esas estructuras de ese elemento...”</i>
14		<i>“... el concepto de sustancia simple para mí es un concepto macro, no es un concepto micro y nanoscópico ni subnanoscópico, es un concepto mucho más macro.”</i>
15		<i>“(sustancia simple) ¿Una sustancia que está formada por átomos del mismo elemento?”</i>
16		<i>“...sustancia simple se refiere a una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento...”</i>
17		<i>“(sustancia simple) no se refiere a un elemento.”</i>

Tabla 8

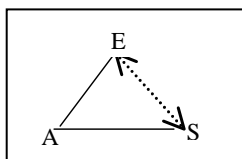
Las relaciones utilizadas por P7, acordes con el carácter de átomo del concepto elemento, se detallan a continuación. Estas relaciones están numeradas según aparecen en la tabla 1.



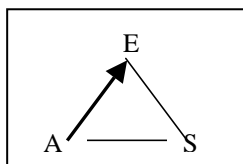
La relación 4, que aparece en los momentos 1 y 4, define el elemento en términos del concepto átomo.



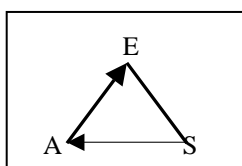
La relación 1 plantea una correspondencia entre los conceptos elemento y átomo. Este planteamiento, de alguna manera acorde con lo planteado por Mendeleiev en el sentido de que *“elemento evoca la idea de átomo”* está presente en los momentos 2, 10, 11 y 12.



La relación 2, complementaria de la 1, manifiesta que elemento y sustancia simple son dos cosas distintas. En los momentos 3, 6 y 17, P7 se refiere a esta diferencia.

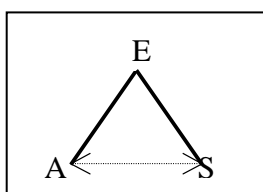


La relación 5 asocia el concepto de átomo con el de elemento. P7 se refiere a esta situación en los momentos 5, 7 y 13 cuando define átomo como una de las estructuras del elemento caracterizadas por su composición nuclear.



La relación 10 define la sustancia simple en términos de átomos de un mismo elemento, lo cual es absolutamente consistente con las definiciones aceptadas en este trabajo. En los momentos 8, 15 y 16, P7 define sustancia simple como: “...sustancia simple se refiere a una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento...”.

Si recordamos la definición de elemento de Bullejos et al. (1995): “...**elemento** es una clase de átomos de los que suponemos, según la teoría atómica, que están compuestas las sustancias.” Podemos considerar que las dos son equivalentes, con la única diferencia que P7 define el todo en función de sus partes, mientras que Bullejos et al. definen las partes que conforman el todo.



La relación 6 establece las diferencias en las propiedades del átomo y de la sustancia simple. P7 alude a este hecho en los momentos 9 y 14.

La tabla 9 resume las relaciones mencionadas por P7 durante el fragmento de la entrevista dirigido a obtener las definiciones de elemento, átomo y sustancia simple. En ella se observa la frecuencia con que se refirió a cada una. Ella corrobora que en siete intervenciones, de los diecisiete momentos totales P7 ratificó que elemento es sinónimo de átomo mas no de sustancia simple, cinco estableció relaciones entre el concepto de elemento y el de átomo, tres definió sustancia simple como: “una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento...”. Y, finalmente, en dos ocasiones dejó en claro que las

propiedades de la sustancia simple, que denomina lo *macro*, son diferentes de las de los átomos, que llama lo *micro*. Todo lo anterior pone de manifiesto la visión de átomo que P7 tiene de elemento.

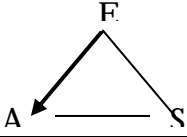
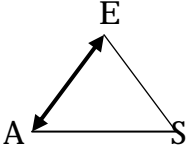
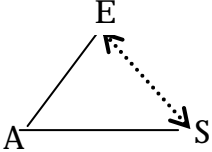
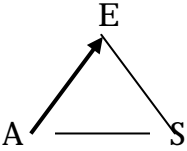
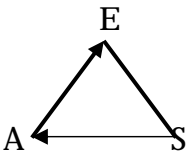
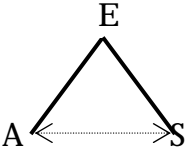
Símbolo de la relación	Frecuencia	Momentos
	2	1,4
	4	2, 10, 11, 12
	3	3, 10, 17
	3	5, 7,13
	3	8, 15, 16
	2	9, 14

Tabla 9

La tabla 10 es un resumen de la tabla 8, que permite seguir la coherencia del discurso de P7 desde el principio hasta el final de la entrevista. Obsérvese que lo que había dicho inicialmente en los momentos 2 y 3: “...un concepto de elemento es un concepto microscópico.. .antes que un concepto macroscópico...” lo ratifica en su última intervención: “(sustancia simple) no se refiere a un elemento.”

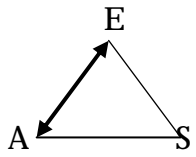
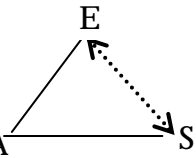
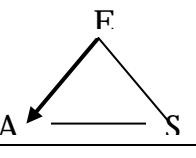
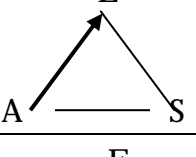
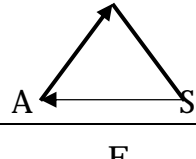
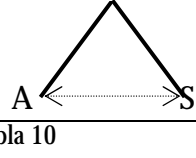
Símbolo de la Relación	Momentos																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		x								x	x	x					
			x			x											x
	x			x													
					x		x										
								x							x	x	
									x					x			

Tabla 10

Al analizar lo expresado por P7 en todos los momentos de la entrevista en lo relativo a los conceptos elemento, átomo y sustancia simple, encontramos que todas sus intervenciones son coherentes, ya que durante toda la entrevista, expresa claramente su posición de que el concepto elemento está directamente relacionado con el de átomo y que es diferente a la sustancia simple. Para P7 *elemento* es sinónimo de *átomo*.

2.3.3. Elemento como especie

P15.

E.- ¿Usted, por favor, me puede definir qué es para usted un elemento?

¿Un elemento?

E.- Un elemento...

Es el que... para mí... a ver... es que aquí hay la diferencia entre definir elemento y definir átomo. Un elemento es sólo un conjunto de átomos que tienen el mismo número atómico, no así necesariamente el mismo peso atómico. Y, por lo tanto, entraríamos primero, antes de hablar de lo que es un elemento, me vería en la obligación, primero de hablar del átomo, luego de los isótopos y por último, hablar del elemento. Que sí que tendrá el mismo número atómico. Cuando hablo de litio, diré tiene número atómico tres, pero no necesariamente tienen el mismo peso atómico todos los átomos que forman este elemento. Y por lo tanto, le confiere unas propiedades particulares, de estabilidad, de núcleo, etc. Para mí, esto es un elemento, con una estructura determinada. Pero antes no llegaría a definir elemento... no lo definiría en primero de una manera fácil, ¿eh?

¿Usted considera que es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?

No, no... no, además, rotundamente, no. O sea, un átomo es el que tiene un número atómico y un peso atómico, una masa atómica determinada y en cambio, un elemento, no. Elemento tiene un número atómico, pero no necesariamente un peso atómico. El potasio, tenemos el potasio, está clarísimo, es el ejemplo, para mí, clarísimo... Potasio 19, pero es potasio 39, potasio 41, son dos átomos, dos isótopos, y esto, el potasio con el 39 popopón... sería el elemento.

E.- ¿Y la sustancia simple?

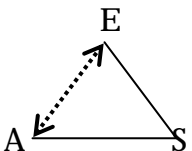
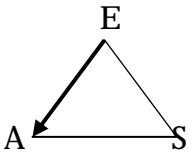
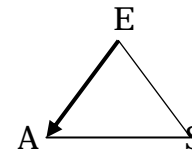
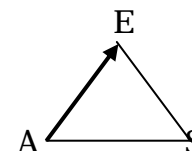
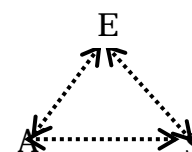
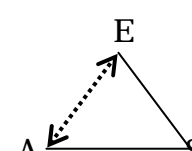
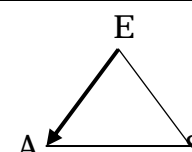
Es que para mí, no me gusta la definición., Porque podríamos definir, algún libro lo dice, pero a mí no me gusta, que es aquella que está formada por un solo átomo, o por un solo tipo de átomos, y eso ya entra en contradicción, porque no sería ni el elemento, sería el átomo. Por lo tanto a mí, hablar de sustancia simple... no me gusta. O sea, a veces la gente hace el símil, en algún libro, cada vez menos, pero en algún libro hacen un símil entre sustancia simple y elemento y otros no. Otros dicen, por ejemplo, la sustancia simple es el agua, tan simple no es, para mí es una cosa bastante más complicada. O sea, ¿qué entendemos por sustancia simple? Yo no la utilizo, ni sustancia compuesta. Yo hablo de elementos y compuestos.

Estoy haciendo un diccionario de química, ¿podría, por favor, definirme elemento, átomo y sustancia simple?

¡Ah! Porque es complicado, ¿eh? Porque se entran en contradicciones bastante graves. Bueno, tendría que pensarlo un rato para escribirlo en un libro. No es tan fácil, ¿eh? Supongo que lo escribiría y le estaría dando vueltas, pero bueno, el átomo es la unidad más simple que existe con unas propiedades propias y que tiene una masa atómica y un número atómico determinado. Punto, y pondría ejemplos. Bueno, claro, en un diccionario, no pondría ejemplos, por lo tanto tendría que pensar muy bien la definición. Por ejemplo, pondría, un átomo es de litio. El litio, pero no el litio con este número de aquí, sino el litio con el 3 y aquí el 6 o el 7. Esto para mí es un átomo. En cambio, para pasar a elemento,

ya diría que son un conjunto de átomos con un mismo número atómico pero en ningún el peso atómico, por lo tanto, antes de definir elemento, me vería obligada en este diccionario a definir isótopo. Y aquí comentaría varios casos. Porque, por ejemplo, cloro, 17, 35, átomo, cloro, 17, 37, átomo, o sea, esto es el mismo átomo porque tiene el mismo número atómico, pero la suma de estos, con un porcentaje, el que sea, da el 17.35, lo que sea, y esto sería, para mí, el elemento. No hablaría, en ningún caso de sustancia simple en el diccionario.

Como en los casos anteriores, la entrevista se tradujo a los símbolos correspondientes en la tabla 11.

Momento	Símbolo de la relación	Texto correspondiente
1		<i>...hay la diferencia entre definir elemento y definir átomo.</i>
2		<i>Un elemento es sólo un conjunto de átomos que tienen el mismo número atómico, no así necesariamente el mismo peso atómico.</i>
3		<i>...elemento. Que sí que tendrá el mismo número atómico...</i>
4		<i>Cuando hablo de litio, diré tiene número atómico tres, pero no necesariamente tienen el mismo peso atómico todos los átomos que forman este elemento.</i>
5		¿Usted considera que es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple? <i>No, no... no, además, rotundamente, no.</i>
6		<i>... un átomo es el que tiene un número atómico y un peso atómico, una masa atómica determinada y en cambio, un elemento, no.</i>
7		<i>Elemento tiene un número atómico, pero no necesariamente un peso atómico.</i>

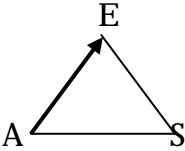
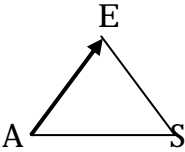
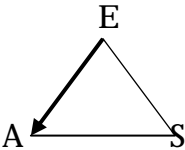
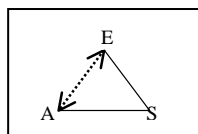
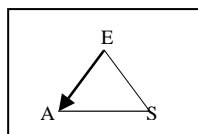
8		<i>Potasio 19, pero es potasio 39, potasio 41, son dos átomos, dos isótopos, y esto, el potasio con el 39 [...] sería el elemento.</i>
9		<i>... el átomo es la unidad más simple que existe con unas propiedades propias y que tiene una masa atómica y un número atómico determinado...</i>
10		<i>... elemento, yo diría que son un conjunto de átomos con un mismo número atómico pero en ningún caso el peso atómico...</i>

Tabla 11

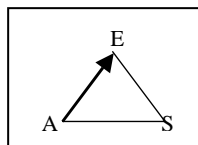
A continuación se analizaron las relaciones empleadas:



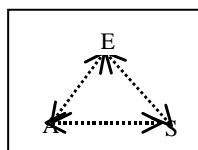
La relación 28 se encuentra en los momentos 1 y 6 cuando P15 plantea su posición de que elemento y átomo son dos conceptos diferentes.



La relación 4 aparece en los momentos 2, 3, 7 y 10 en el sentido de elemento como un conjunto de átomos caracterizado por una propiedad particular, su número atómico.



La relación 5 es utilizada en tres momentos para referirse a tres aspectos diferentes de la relación entre átomo y elemento. En el momento 4 para mostrar la diferencia entre los dos conceptos. En el momento 8 para ejemplificar la diferencia entre los isótopos y el elemento. Finalmente, en el momento 9 para definir átomo como la mínima expresión de un elemento.



La relación 19, presente en el momento 5 resume la posición de P15 en cuanto a que elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes.

Luego se resumieron las relaciones, frecuencias y momentos en la tabla 12.

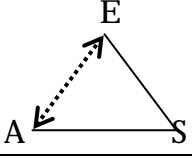
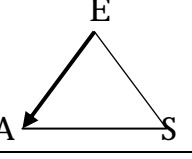
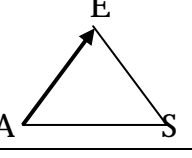
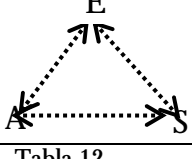
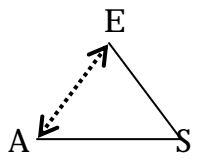
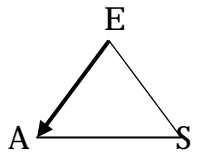
Símbolo de la relación	Frecuencia	Momentos
	2	1,6
	4	2,3,7,10
	3	4,8,9
	1	5

Tabla 12

Y, finalmente, se condensó la información en la tabla 13, observándose como para P15 elemento, átomo y sustancia no sólo son tres conceptos diferentes sino que aclara cuales son las diferencias entre elemento (especie) y átomo (individuo).

Símbolo de la relación	Momentos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	x					x				
		x	x				x			x

E.- y ¿qué los hace iguales?

Ah, los hace iguales la estructura externa, la estructura electrónica externa, los hace iguales, lo que los hace diferentes es su constitución interna nuclear. Pienso yo.

E.- Entonces esos dos serían...

Son isótopos...

E.- Son isótopos, pero entonces serían... los dos son el mismo elemento...

Sí pero son átomos diferentes, átomos distintos, sustancias distintas, son el mismo elemento carbono... elemento carbono y son dos sustancias diferentes, entonces los isótopos son sustancias diferentes del mismo elemento...

E.- ¿Y el grafito y el diamante?

Bueno, ya serían variedades alotrópicas, grafito y diamante, grafito es una sustancia diferente del diamante.

E.- Pero todos siguen siendo carbono... ¿o no?

Sí, pero ya hay una estructura diferente. Entonces, la sustancia tiene unas características, una estructura, unas cosas muy especiales que ya no la tiene otro. Sí porque el carbono y el grafito son el mismo elemento, es cierto, pero su estructura es diferente, su estructura geométrica, su configuración es muy diferente.

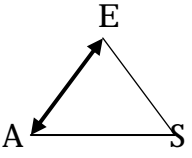
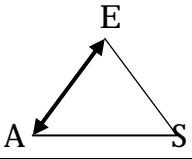
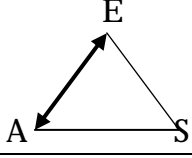
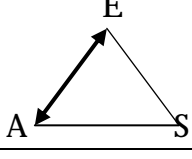
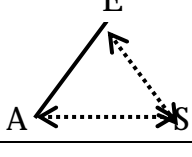
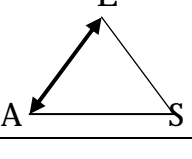
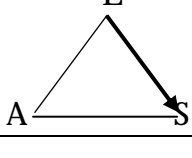
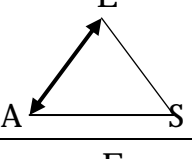
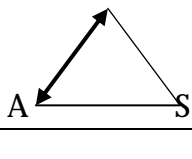
E.- Entonces, resumiendo, un elemento ¿es qué?

Entonces tenemos grafito y diamante, pertenecen al mismo elemento ¿sí? pero no son dos cosas iguales, no son dos entes químicos iguales, porque hay diferencias en la forma geométrica, en los enlaces, en las propiedades físicas, eso es sustancia. Tienen el mismo elemento pero diferentes propiedades físicas por tener diferente configuración geométrica o diferente estructura geométrica.

E.- y ¿los isótopos?

Los isótopos son aquellos que tienen todo igual menos el número de neutrones...

Esta información se desglosó en la tabla 14, asociando cada una de las ideas expuestas por P1 respecto a los conceptos elemento, átomo y sustancia simple con uno de los símbolos de la tabla 1.

Momento	Símbolo de la relación	Texto correspondiente
1		<i>...un elemento es como la unidad... la unidad básica...</i>
2		<i>...son las unidades básicas que forman la química.</i>
3		<i>...son las unidades más pequeñas que se pueden encontrar, independientes, ¿no?</i>
4		<i>Así los podíamos llamar átomos...</i>
5		<i>...sustancia simple sí es muy diferente de átomo y elemento...</i>
6		<i>Átomo y elemento pues son como muy sinónimos...</i>
7		<i>...los elementos que constituyen la materia...</i>
8		<i>...ese elemento corresponde a un átomo...</i>
9		<i>Aquí (en la tabla periódica) tenemos átomos...</i>

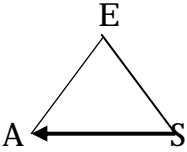
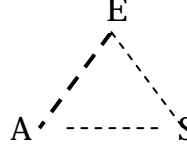
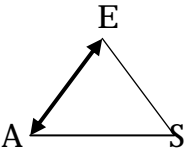
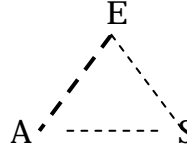
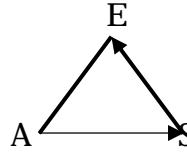
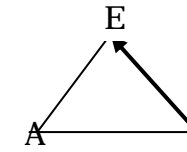
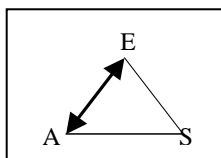
10		<i>...porque la sustancia podría tener muchos átomos...</i>
11		<i>...el elemento sería como el símbolo...</i>
12		<i>...el elemento tiende a confundirse con el átomo...</i>
13		<i>...el elemento ya es el nombre de la sustancia.</i>
14		<i>...los isótopos son sustancias diferentes del mismo elemento...</i>
15		<i>Entonces tenemos grafito y diamante, pertenecen al mismo elemento...</i>

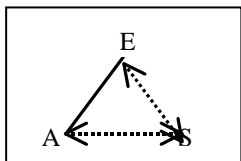
Tabla 14

Durante los quince momentos en que P1 se refirió a los tres elementos estudiados, utilizó siete relaciones diferentes.

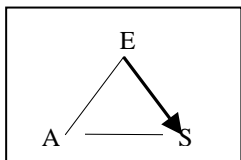


La relación 1, que identifica al elemento con el átomo, aparece en la tabla 5 ocho veces. En los momentos 1, 2, 3, 4, 6, 8 y 9 P1 manifiesta de una u otra forma que “Átomo y elemento pues son como muy sinónimos...”

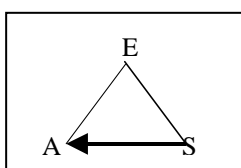
Sin embargo, en el momento 12, después de haber afirmado que “...el elemento sería como el símbolo...” ya no parece tan seguro de su posición, pues lo que manifiesta entonces es que “...el elemento tiende a confundirse con el átomo...”. Esta expresión da la sensación que la coherencia de su discurso se ha debilitado.



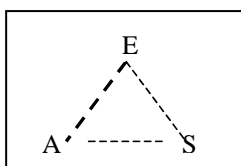
La relación 3 está de acuerdo con el hecho de que sustancia simple es distinta de elemento y de átomo. P1 lo dice explícitamente en el momento 5.



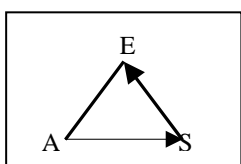
La relación 21 utilizada por P1 en el momento 7 refuerza lo manifestado hasta entonces en cuanto que elemento es sinónimo de átomo, y como tal, hace parte de la materia.



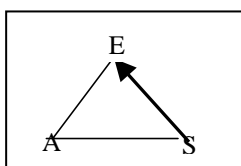
La relación 12 que aparece en el momento 10, indica que la sustancia simple está formada por muchos átomos de un mismo tipo, de un mismo elemento.



La relación 16 representa una concepción de elemento como símbolo. Lo que significa que el concepto elemento no está asociado ni a átomo ni a sustancia simple. Como dice P1 en los momentos 11 y 13, “...el elemento sería como el símbolo...” o “...el nombre de la sustancia...” .. Hasta este momento P1 había mantenido una posición coherente en su discurso en cuanto a la similitud entre elemento y átomo. Esta coherencia se pone en duda a partir de este momento de la entrevista.



La relación 9 conecta los tres conceptos de nuestro interés a través del concepto sustancia simple. Sin embargo, el planteamiento de P1 que los asocia en el momento 14 cuando expresa que: “...los isótopos son sustancias diferentes del mismo elemento...” no es del todo cierto, ya que la mayoría de las sustancias simples están constituidas por más de un isótopo. Los isótopos son átomos diferentes de un mismo elemento, pero no se encuentran formando sustancias diferentes.



La relación 22 está bien usada por P1 en el momento 15, ya que efectivamente diamante y grafito son un ejemplo de distintas formas alotrópicas de un mismo elemento.

La tabla 15 resume las relaciones presentes en esta parte de la entrevista de P1, su frecuencia y los momentos en que son empleadas.

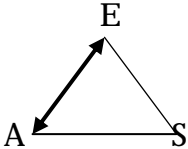
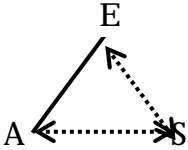
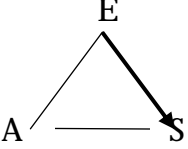
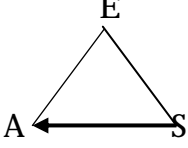
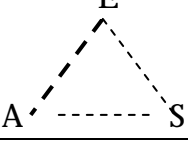
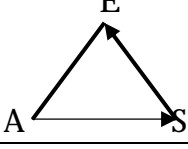
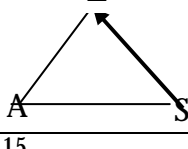
Símbolo de la relación	Frecuencia	Momentos
	8	1,2,3,4,6, 8,9,12
	1	5
	1	7
	1	10
	2	11, 13
	1	14
	1	15

Tabla 15

La Tabla 16 permite seguir la línea del discurso de P1 a lo largo de la entrevista. Como se puede apreciar, su posición era coherente hasta el momento 10. Los momentos 11 y 13 rompen esta coherencia. La respuesta correspondiente al momento 12, como ya se

mencionó, deja la duda de si realmente P1 considera que elemento es sinónimo de átomo, o si sólo se trata de un concepto asociado al símbolo, o como dijo después “*el nombre de la sustancia*”.

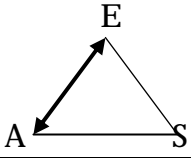
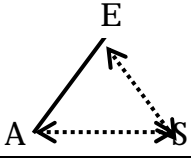
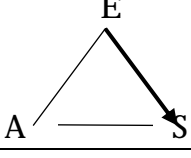
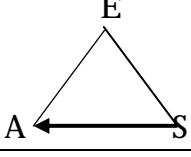
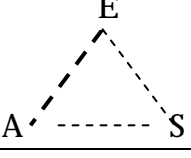
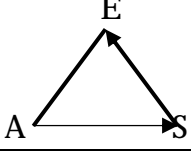
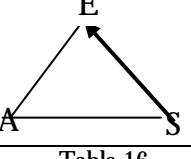
Símbolo de la relación	Momentos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	x	x	x	x		x		x	x			x			
					x										
							x								
										x					
											x		x		
														x	
															x

Tabla 16

2.3.5. Elemento indefinido

P4:

E.- ¿Podría, por favor definirme qué es para usted un elemento?

Un elemento químico... un elemento químico es el que está constituyendo la materia. Ahora hay una relación íntima entre lo que es el elemento químico como tal, porque por ejemplo, uno habla de la materia, por ejemplo para el caso del azufre, uno habla del elemento azufre, y resulta que el elemento azufre no es un solo átomo, sino varios átomos enlazados, porque el azufre es S ocho, ¿sí? por ejemplo, pero si habla del elemento litio, litio es un solo... tú consideras una expresión de que tienes un mol de átomos de litio, mientras que acá tienes ocho moles de átomos de azufre, ¿sí? Entonces cuando uno habla de elemento está entrelazando el concepto de átomo y elemento realmente, ¿sí?, entonces definir exactamente qué es un elemento queda como hummm... Porque hablas del elemento fósforo y tienes cuatro átomos unidos... pues yo no sabría exactamente definir un elemento...

E.- ¿Considera que es lo mismo elemento y sustancia simple?

Elemento, átomo y sustancia simple.. humm... no...

E.- ¿Podría, por favor, definirme elemento, átomo y sustancia simple?

Ay, no... porque es que el elemento está constituido por átomos, si uno habla de... en ese sentido ¿sí?

E.- y la sustancia simple ¿qué vendría siendo? Porque, por ejemplo, si yo tengo carbono doce y carbono catorce o carbono diamante y carbono grafito, todos son carbono, ¿o no?

Pues si uno lo mira desde el punto de vista de que no se separe, esa sería la sustancia simple. Por ejemplo, el fósforo, fósforo cuatro, esa sería la sustancia simple para el fósforo. Azufre ocho, sustancia simple ¿sí? Hummm... pero si uno ve, por ejemplo, el litio, el litio en estado sólido está constituido por una cantidad de átomos de litio...

E.- Y entonces ¿cuál sería la definición de átomo? ¿átomo es lo mismo que elemento?

Pues si lo miramos desde... bueno, podría ser...

E.- ¿qué cree usted que debo escribir en mi diccionario para átomo, elemento y sustancia simple?

(risas)... Los elementos pueden estar constituidos por átomos, o están constituidos por átomos. Eso sería el elemento.

E.- Pero esos átomos tienen que tener una característica particular.

Claro.

E.- y ¿los átomos?

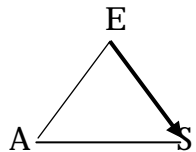
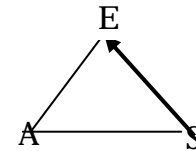
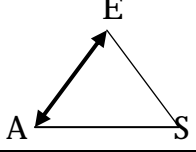
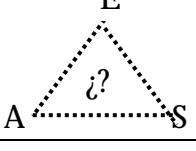
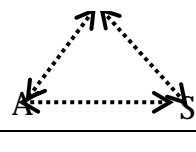
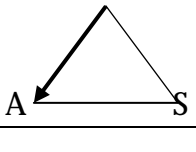
Los átomos... pues que están constituidos por un número de neutrones y protones definido para cada elemento, ¿no? Vuelvo y enlace.

E.- ¿Y la sustancia simple?

Pues la mínima expresión de esos elementos que pueden existir, o sea, que de ahí para allá no se pueden separar, ¿sí?. Si yo me pongo en ese intríngulis de separar cada una de las cosas... así... porque, por ejemplo, si uno habla de carbono grafito, carbono diamante, ambos serían elementos, ¿sí?, que uno trabaja normalmente carbono grafito, porque es el que está natural, ¿sí? pero el carbono diamante, también, sólo que las estructuras son distintas, ¿sí? Sin embargo, el carbono grafito son seis átomos enlazados octahédricamente, y el otro... ve, perdón, hexagonalmente, pero el otro es tetrahedro... ¿sí? Ambos son elementos, en estados distintos, pero ambos son elementos naturales y hasta ahora se pueden conseguir artificialmente también, y ¿entonces?

Ante esa pregunta, en estos momentos, ¿cómo hace uno para hacer la distinción cuando ya estamos hablando de otras partículas dentro del mismo átomo?

Siguiendo el mismo proceso, la entrevista de P4 se volcó en la tabla 17.

Momento	Símbolo de la relación	Texto correspondiente
1		<i>... un elemento químico es el que está constituyendo la materia.</i>
2		<i>Ahora hay una relación íntima entre lo que es el elemento químico como tal, porque por ejemplo, uno habla de la materia, por ejemplo para el caso del azufre, uno habla del elemento azufre...</i>
3		<i>...cuando uno habla de elemento está entrelazando el concepto de átomo y elemento realmente...</i>
4		<i>...yo no sabría exactamente definir un elemento...</i>
5		<i>Elemento, átomo y sustancia simple... humm... no...</i>
6		<i>...el elemento está constituido por átomos...</i>

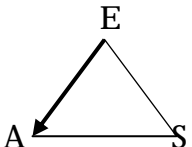
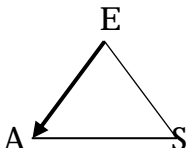
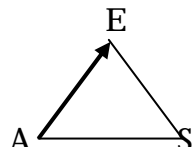
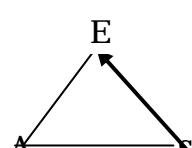
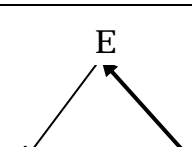
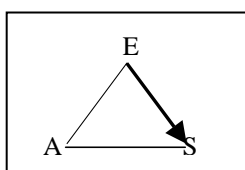
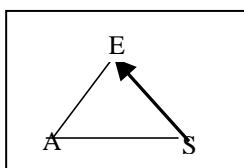
7		<i>Los elementos pueden estar constituidos por átomos...</i>
8		<i>...están constituidos por átomos...</i>
9		<i>Los átomos... pues que están constituidos por un número de neutrones y protones definido para cada elemento...</i>
10		<i>Y la sustancia simple? Pues la mínima expresión de esos elementos que pueden existir, o sea, que de ahí para allá no se pueden separar,</i>
11		<i>...si uno habla de carbono grafito, carbono diamante, ambos serían elementos...</i>

Tabla 17

La posición de P4 está declarada en el momento 4 cuando expresa que: “...yo no sabría exactamente definir un elemento...”. Esta afirmación se trasluce visualmente en las relaciones presentes en la tabla 17, que se analizan a continuación.

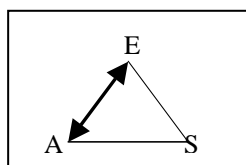


La relación 21, que asocia el concepto elemento con el de sustancia simple aparece en el primer momento de la entrevista de P4, cuando dice que: “... un elemento químico es el que está constituyendo la materia”. Esta aseveración sugiere que elemento tiene carácter de una parte, de un todo. Evoca la idea de átomo.

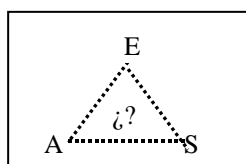


La relación 22 aparece en tres momentos. En el momento 2, lo que sugiere P4 es que sustancia y elemento serían una misma cosa. En el momento 10 aparece una confusión entre átomo y sustancia simple y entre sustancia simple y elemento. Respecto a la sustancia simple, P4 expresa que: “Pues (es)

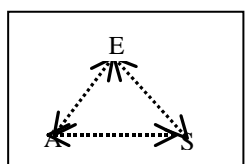
la mínima expresión de esos elementos que pueden existir, o sea, que de ahí para allá no se pueden separar...” Sin embargo, la mínima expresión de un elemento es el átomo y no la sustancia simple como afirma P4. De nuevo, en la segunda parte de la frase se sugiere que elemento y sustancia simple sería aquello que no se puede separar. Finalmente, en el momento 11, esta relación se encuentra aludida para indicar que los alótopos son estructuras distintas del mismo elemento.



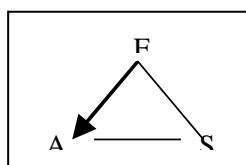
La relación 1, aparece en el momento 3, asociando estrechamente los conceptos elemento y átomo.



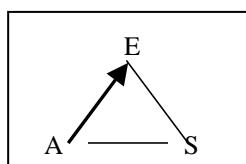
La relación 17 es expresada por P4 en el momento 4 al decir: “...yo no sabría exactamente definir un elemento...” Podríamos considerar que se trata del comienzo de un proceso metacognitivo a través del cual P4 se hace consciente de la importancia de tener claridad sobre los conceptos que aparecen desde los primeros cursos de química, y sobre los cuales, a pesar de su uso cotidiano, no se reflexiona suficientemente.



La relación 19, manifiesta en el momento 5, considera que los tres conceptos en cuestión son diferentes entre sí, como efectivamente lo son.



La relación 4 aparece en los momentos 6, 7 y 8. Al afirmar que “los elementos están constituidos por átomos” aflora de nuevo la idea que el elemento es lo mismo que la sustancia simple.



La relación 5, se encuentra asociando el concepto de átomo al de elemento, en el momento 9

La tabla 18 recoge las relaciones, frecuencias y momentos en la entrevista de P4.

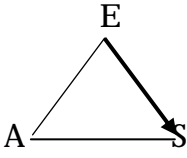
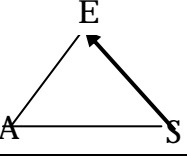
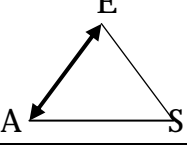
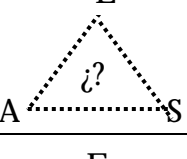
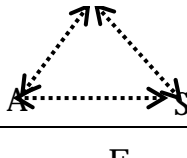
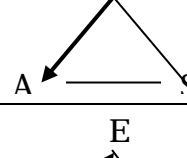
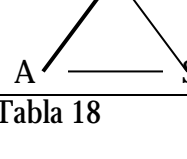
Símbolo de la relación	Frecuencia	Momentos
	1	1
	3	2,10,11
	1	3
	1	4
	1	5
	3	6,7,8
	1	9

Tabla 18

La tabla 19 refleja la incoherencia de P4, consecuencia de lo manifestado en el momento 4 de la entrevista : “...yo no sabría exactamente definir un elemento...”

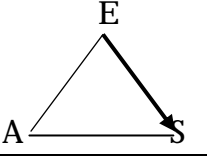
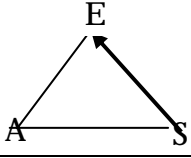
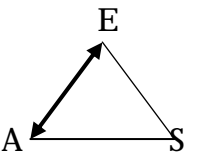
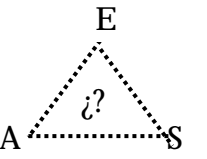
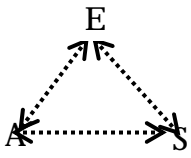
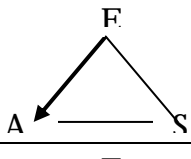
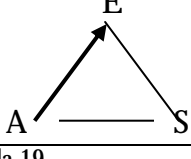
Símbolo de la relación	Momentos										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	x										
		x								x	x
			x								
				x							
					x						
						x	x	x			
									x		

Tabla 19

Si bien las líneas de coherencia sugieren la visión de cada profesor y las tablas muestran el tipo de relación más utilizada por cada uno, en algunos casos no era tan claro ni tan definitivo como en otros.

Por tal razón, continuamos el análisis en un tercer nivel, correlacionando el tipo de relaciones expresadas por cada profesor durante la entrevista.

3. Tercer nivel de análisis: Clasificación de los profesores de acuerdo con las cinco visiones de elemento

El siguiente paso en la dilucidación de las visiones de los profesores respecto al concepto elemento consistió en tabular el tipo de relación aludido por cada uno y la frecuencia de su uso.

Para facilitar la lectura de las tablas en esta sección, solamente se utilizará el número con que se identifica cada una en la tabla 1.

Relación	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16	#P
1	8			1		4		1				2			5
2					2	3	1								3
3	1														1
4		1	2	3	11	2		2	5	1	4	1	4	3	12
5			3	1	2	3	1		3		2		3	1	9
6						2									1
7															*
8										1					1
9	1														1
10						3	1				1			1	3
11							1	3							2
12	1						1	2		1				1	5
13															*
14					1		2								2
15															*
16	1						1	1						1*	4
17				1								1			2
18										1					1
19				1			1				1		1		4
20												1			1
21	1			1	3		5			1	4			2	7
22	1	2		3	1						1	1		2	7
23														1	1
24							2								1
25										1					1
26										1					1
27		3	1				1			1					4
28		2	1		1		2		14		2		2		7
29		6	7		8				18		3			1	6
comunes	5	5	5	7	8	5	11	5	4	4	8	4	4	8	
propias	2					1	1			4		1		1	
total	7	5	5	7	8	6	12	5	4	8	8	5	4	9	

Tabla 20 * Estas relaciones fueron dadas por P14, quien fue excluido de la muestra.

La primera clasificación que permite hacer la tabla 20 respecto a las veintinueve relaciones encontradas es que hay algunas que son utilizadas por varios profesores y otras que son propias de un solo docente.

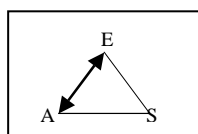
La tabla 21 contiene las dieciséis relaciones comunes indicando además la frecuencia de uso de cada profesor. La última columna muestra el número total de veces que cada relación aparece en esta etapa de esta investigación.

Relación	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16	
1	8			1		4		1				2			16
2					2	3	1								6
4		1	2	3	11	2		2	5	1	4	1	4	3	39
5			3	1	2	3	1		3		2		3	1	19
10						3	1				1			1	6
11							1	3							4
12	1						1	2		1				1	6
14					1		2								3
16	1						1	1						1	4
17				1								1			2
19				1			1				1		1		4
21	1			1	3		5			1	4			2	17
22	1	2		3	1						1	1		2	11
27		3	1				1			1					6
28		2	1		1		2		14		2		2		24 10*
29		6	7		8				18		3			1	43 28*
comunes	5	5	5	7	8	5	11	5	4	4	8	4	4	8	

Tabla 21 * Frecuencia total excluyendo a P10, que las usó repetidamente.

Ahora bien, como lo mostró el análisis de cada entrevista, una misma relación puede tener distintos matices, por lo cual, el siguiente paso consistió en analizar cada una de las relaciones comunes con el fin de acercarnos cada vez más a la visión propia de cada docente.

Relación 1:



P1:

“Átomo y elemento pues son como muy sinónimos...”

“...el elemento tiende a confundirse con el átomo...”

P4:

“...cuando uno habla de elemento está entrelazando el concepto de átomo y elemento realmente...”

P7:

La relación 1 plantea una correspondencia entre los conceptos elemento y átomo

“...el concepto de elemento y átomos están ligados...”

“...un elemento es definido sencillamente como una estructura atómica...”

“...un elemento es una estructura atómica caracterizada por tener un número atómico N y un número n de electrones y un número n de protones.”

P9:

“Un elemento... un átomo... uno podría pensar de pronto que es lo mismo.”

P13:

“Cuando decimos de un elemento, hablamos de un átomo.

...el átomo, por ejemplo, de zinc, ese es un elemento...”

En resumen:

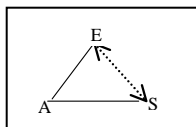
La relación 1 es utilizada para expresar que:

- elemento y átomo están muy ligados P1, P4, P7, P9, P13
- un elemento es definido sencillamente como una estructura atómica P7
- un elemento es una estructura atómica caracterizada por tener un número atómico Z y un número n de electrones y un número n de protones P7

	P1	P4	P7	P9	P13
Elemento y átomo están muy ligados	x	x	x	x	x
Un elemento es definido como una estructura atómica			x		
Un elemento está caracterizado por Z			x		

Tabla 22

Relación 2:



P6:

*“... entonces no podríamos definir sustancia como igual que un elemento”
 “Entonces un elemento y sustancia simple no serian la misma cosa...”*

P7:

“(sustancia simple) no se refiere a un elemento.”

P8:

“Y, bueno, sustancia simple, asumo que... no necesariamente tiene que ser lo mismo (que elemento).”

En resumen:

La relación 2 es utilizada de manera contundente como visión de elemento como átomo:

- “(sustancia simple) no se refiere a un elemento.” P7

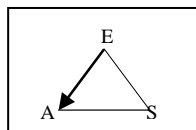
como resultado de un proceso metacognitivo:

- “... entonces no podríamos definir sustancia como igual que un elemento” P6
- “Entonces un elemento y sustancia simple no serian la misma cosa...” P6
- Y, bueno, sustancia simple, asumo que... no necesariamente tiene que ser lo mismo (que elemento). P8

“(sustancia simple) no se refiere a un elemento.”	P6	P7	P8
Como visión atomista contundente		x	
Como resultado de un proceso metacognitivo	x		x

Tabla 23

Relación 4:



P2:

“La definición de elemento implica una definición previa de átomo.”

P3:

*“...el elemento son átomos de la misma clase.. “
 “Aunque el elemento tenga una combinación de diferentes números de masa...”*

P4:

“...el elemento está constituido por átomos...”

P6:

“Un elemento está formado por átomos...”

“... no importa a que tipo de isótopos nos estemos refiriendo...”

“un mismo elemento puede presentarse en la naturaleza con el mismo número de protones pero con distinto número de neutrones, dando lugar a los isótopos”

“...lo que caracteriza y define un elemento químico es su número atómico.”

P7:

“... un concepto de elemento está digamos muy relacionado con el concepto de átomos.”

“(elemento) está más definido en términos de la definición de cuántos electrones, protones hay en una determinada estructura de un átomo...”

P9:

“...elemento, es el nombre que se le da a los diferentes átomos...”

“Yo diría que un elemento es un tipo de átomo...”

P10:

“... el elemento está constituido por átomos...”

“El elemento está caracterizado por el átomo...”

“Pues realmente lo que caracteriza realmente al elemento es el número de protones, ¿no? que siguen siendo iguales...”

P11:

“(lo que identifica a un elemento es...) Su número de protones.”

P12:

“Los elementos están compuestos de átomos.”

“¿qué es lo que caracteriza un elemento? Pues la constitución con base en las partículas elementales...”

“...lo único que tienen todos iguales es...El número de electrones y el número de protones...”

P13:

“Un elemento químico es un sistema único que lo hace completamente diferente en sus propiedades físicas, químicas, termodinámicas, a otro y que se diferencia uno de otro en su composición, llamémoslo así, composición nuclear, composición electrónica...”

P15:

La relación 4 aparece en los momentos 2, 3, 7 y 10 en el sentido de elemento como un conjunto de átomos caracterizado por una propiedad particular, su número atómico

“Un elemento es sólo un conjunto de átomos que tienen el mismo número atómico, no así necesariamente el mismo peso atómico.”

P16:

La relación 4 aparece en tres momentos de la entrevista. En los momentos 3 y 6 el concepto de elemento y el de átomo tienen una relación todo – parte, o macro – micro. En el momento 10 elemento está definido en función de su configuración electrónica.

“Un elemento está formado por átomos.”

“...elemento químico tiene unas propiedades que vienen marcadas por su configuración electrónica.”

En resumen:

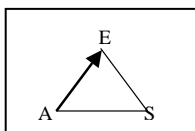
La relación 4 es empleada para indicar que:

- “La definición de elemento implica una definición previa de átomo.” P2
- el elemento son átomos de la misma clase, un tipo de átomo P3, P9
- El elemento puede una combinación de diferentes números de masa...” (distinto peso atómico, isótopos) P3, P6, P15
- ...el elemento está constituido por átomos... P4, P10
- “Un elemento está formado por átomos...” P6, P12, P16
- “...lo que caracteriza y define un elemento químico es su número atómico.” P6, P7, P10, P11, P12, P13, P14, P15
- “... un concepto de elemento está digamos muy relacionado con el concepto de átomos.” P7
- “...elemento, es el nombre que se le da a los diferentes átomos...” P9
- “El elemento está caracterizado por el átomo...” P10
- ...elemento químico tiene unas propiedades que vienen marcadas por su configuración electrónica P16

	P2	P3	P4	P6	P7	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
Elemento caracterizado por Z				x	x		x	x	x	x	x	
Elemento está formado por átomos				x					x			x
Elemento puede tener isótopos		x		x							x	
Elemento es un tipo de átomo		x				x						
Elemento está constituido por átomos			x				x					
Elemento es el nombre de un átomo						x						
Elemento está muy relacionado con átomo					x							
Elemento implica una definición de átomo	x											
Elemento está caracterizado por el átomo							x					
Elemento tiene propiedades marcadas por su configuración electrónica												x

Tabla 24

Relación 5



P3:

“...un grupo de átomos forma un elemento...”

“Un átomo es la mínima parte de un elemento...”

P4:

“Los átomos... pues que están constituidos por un número de neutrones y protones definido para cada elemento...”

P6:

“todos los átomos de un elemento deben tener las características de tal elemento.”

“(Átomo. Un elemento es un conjunto de átomos de la misma clase...”

P7:

“...los átomos de ese elemento vienen combinados...” (isótopos)

“Átomo es una de esas estructuras de ese elemento...” (caracterizadas por Z).

P8:

“(isótopos) son átomos diferentes, pero son el mismo elemento...”

P10:

“Átomo es la partícula más pequeña de la cual está constituido un elemento.”

“Son distintos tipos de átomos sí, pero... en fin, constituyen el mismo elemento...” (isótopos)

“Se habla de distribución electrónica, pero de los átomos que conforman el elemento...”

P12:

“...y átomo es como la unidad más pequeña constitutiva de un elemento.”

“...precisamente por eso se definen los isótopos, que son átomos del mismo elemento...”

P15:

La relación 5 es utilizada en tres momentos para referirse a tres aspectos diferentes de la relación entre átomo y elemento. En el momento 4 para mostrar la diferencia entre los dos conceptos. En el momento 8 para ejemplificar la diferencia entre los isótopos y el elemento. Finalmente, en el momento 9 para definir átomo como la mínima expresión de un elemento.

“Cuando hablo de litio, diré tiene número atómico tres, pero no necesariamente tienen el mismo peso atómico todos los átomos que forman este elemento.”

“Potasio 19, pero es potasio 39, potasio 41, son dos átomos, dos isótopos, y esto, el potasio con el 39 [...] sería el elemento.”

Capítulo 6

“...el átomo es la unidad más simple que existe con unas propiedades propias y que tiene una masa atómica y un número atómico determinado...”

P16:

La relación 5 se encuentra en el momento 4 ratificando la relación átomo elemento, como parte y todo.

“... la parte más pequeña, como decir, medible, de un elemento es un átomo.”

En resumen:

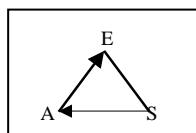
La relación 5 es utilizada para indicar que:

- Un grupo de átomos forma un elemento P3, P6
- Un átomo es la mínima parte de un elemento... P3, P7, P10, P12, P15, P16
- Los átomos están constituidos por un número de neutrones y protones definido para cada elemento... (unas características) P4, P6, P7, P15
- Los átomos de ese elemento vienen combinados...” (isótopos) P7, P8, P10, P12, P15
- La distribución electrónica es de los átomos que conforman el elemento P10

	P3	P4	P6	P7	P8	P10	P12	P15	P16
Un átomo es la mínima parte de un elemento	x			x		x	x	x	x
Los átomos de ese elemento vienen combinados (isótopos)				x	x	x	x	x	
Los átomos tienen Z definido para cada elemento		x	x	x				x	
Un grupo de átomos forma un elemento	x		x						
La distribución electrónica se refiere a átomos de un elemento						x			

Tabla 25

Relación 10:



P7:

“...sustancia simple se refiere a una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento...”

P8:

“...cuando hablas de sustancia simple, el nombre está implicando muchos átomos, muchos átomos de ese elemento...”

P12:

“Sustancia simple es aquella que está formada por átomos del mismo elemento...”

P16:

La relación 10 conecta los tres conceptos en cuestión, aclarando que lo que constituye toda la materia son “átomos de elementos químicos”.

En resumen:

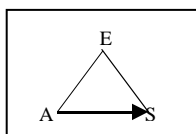
La relación 10 es usada para expresar que:

- Sustancia simple es aquella que está formada por átomos de un mismo elemento...
P7, P8, P12, P16

	P7	P8	P12	P16
Sustancia simple es aquella que está formada por átomos de un mismo elemento	x	x	x	x

Tabla 26

Relación 11



P8:

“... átomos ... que componen esa sustancia”

P9:

“... el átomo es el átomo, es la materia, es lo que existe.”

“...átomo es como [...] el ladrillito que construye la materia.”

En resumen:

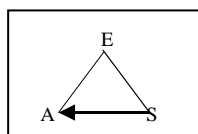
La relación 11 es empleada para indicar que:

- Los átomos componen la sustancia. P8, P9
- El átomo es lo real, la materia. P9

	P8	P9
Los átomos componen la sustancia	x	x
El átomo es lo real, la materia		x

Tabla 27

Relación 12



P1:

"...porque la sustancia podría tener muchos átomos..."

P8:

"...cuando estoy hablando de una sustancia, o sea hablando de un conglomerado de átomos."

P9:

"La materia se encuentra constituida por átomos..."

"¿qué es una sustancia simple? ...la que está constituida por un mismo tipo de átomo."

P11:

"...y una sustancia simple es aquella que está constituida[...] por átomos de ella misma e iguales."

P16:

La relación 12 está en el momento 8 al definir el concepto sustancia simple en forma similar al aceptado en este trabajo (formada por átomos de un mismo tipo).

En resumen:

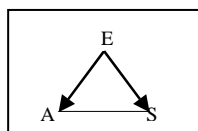
La relación 12 se utiliza para indicar que:

- Una sustancia es un conglomerado de átomos. P1, P8
- Una sustancia simple está constituida por un mismo tipo de átomos. P9, P11, P16

	P1	P8	P9	P11	P16
Una sustancia es un conglomerado de átomos	x	x			
Una sustancia simple está constituida por un mismo tipo de átomos			x	x	x

Tabla 28 Nota: Esta relación puede considerarse como una versión resumida de la relación 10

Relación 14



P6:

“En el concepto de elemento hay que tener en cuenta que existen los isótopos, también el estado en que se encuentra.”

P8:

“Cuando hablas de elemento puedes estar hablando de un átomo pero puedes estar hablando de todo un conglomerado de átomos...”

P11:

“...(un elemento) tiene unas propiedades físicas y unas propiedades químicas que lo hacen diferente a otro y tiene una cantidad de electrones y de protones, sobretodo una cantidad de protones...”

“... un elemento es una sustancia simple y está constituido por átomos...”

En resumen:

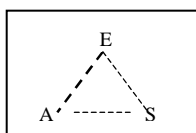
La relación 14 es utilizada para expresar que:

- Elemento es la parte y el todo. P8, P11
- Un elemento puede tener varios isótopos y varios alótropos. P6
- Un elemento es una sustancia simple y está constituido por átomos. P11

	P6	P8	P11
Elemento es la parte y el todo		x	x
Un elemento puede tener varios isótopos y varios alótropos	x		
Un elemento es una sustancia simple y está constituido por átomos			x

Tabla 29

Relación 16



P1:

“...el elemento sería como el símbolo...”

“...el nombre de la sustancia...”

P8:

“...cuando dice elemento pienso en la palabra elemental, es como el principio de algo...”

P9:

“El elemento es un nombre que se le ha dado a los diferentes átomos”

P16:

La relación 16 aparece en el momento 7 cuando P16 define átomo en función de sus partículas y no lo relaciona ni con elemento ni con sustancia simple.

En resumen:

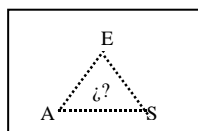
La relación 16 es empleada para definir elemento como un símbolo :

- El elemento sería como el símbolo P1
- El nombre de la sustancia. P1
- Es como el principio de algo. P8
- El elemento es un nombre que se le ha dado a los diferentes átomos. P9
- para definir átomo en función de sus partículas constituyentes:
- El átomo es un conjunto de partículas. P16

	P1	P8	P9	P16
Elemento es como el principio de algo		x		
El nombre de la sustancia.	x			
El elemento es un nombre que se le ha dado a los diferentes átomos.			x	
El elemento sería como el símbolo	x			
El átomo es un conjunto de partículas.				x

Tabla 30

Relación 17



P4:

"...yo no sabría exactamente definir un elemento..."

P13:

"¿Podría, por favor, definirme elemento, átomo y sustancia simple?"

"Ahí sí me tocaría pensarlo..."

En resumen:

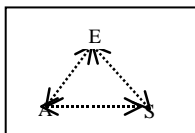
La relación 17 aparece en quienes no tienen una definición clara de elemento, átomo y/o sustancia simple.

- No sabría exactamente definir un elemento. P4, P13

	P4	P13
No sabría definir elemento (átomo o sustancia simple*)	x	x*

Tabla 31

Relación 19



P4:

La relación 19, manifiesta en el momento 5, considera que los tres conceptos en cuestión son diferentes entre sí.

P8:

“Pienso yo que son palabras diferentes (elemento, átomo y sustancia simple) y son expresiones diferente es porque quieren expresar cosas diferentes, de alguna manera.”

P12:

“(Elemento, átomo y sustancia simple) Es que no es exactamente lo mismo.”

P15:

La relación 19, presente en el momento 5 resume la posición de P15 en cuanto a que elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes.

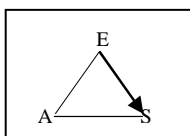
En resumen:

La relación 19 manifiesta que elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes.

	P4	P8	P12	P15
Elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes	x	x	x	x

Tabla 32

Relación 21:



P1:

“...los elementos que constituyen la materia...”

P4:

“... un elemento químico es el que está constituyendo la materia”.

P6:

“Lo que hablábamos del carbono en forma de grafito y en forma de diamante...”

“Y está el estado en que se encuentra (alótropos).”

“... o puede diferir en el estado en que se encuentra(alótropos).”

P8:

“...(elemento) es el mínimo constituyente de un tipo de sustancia específica...”

P11:

“...los elementos existen en la naturaleza o se pueden sintetizar algunos en el laboratorio...”

P12:

“El elemento es la unidad básica de la materia...”

“Cuando uno ve un elemento, cuando usted ve oro, no está viendo un átomo, está viendo una colección de átomos.”

P16:

La relación 21 es utilizada en los momentos 1 y 2 de la entrevista, definiendo elemento como constituyente de la materia, lo cual sugiere la idea de átomo.

En resumen:

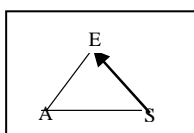
La relación 21 aparece para indicar que:

- Los elementos constituyen la materia. P1, P4, P8, P12, P16
- Elementos están presentes en distintas formas alotrópicas. P6
- Elemento como sustancia (colección de átomos) natural o sintética. P11, P12

	P1	P4	P6	P8	P11	P12	P16
Los elementos constituyen la materia.	x	x		x		x	x
Elementos presentes en distintas formas alotrópicas.			x				
Elemento como sustancia (colección de átomos) natural o sintética					x	x	

Tabla 33

Relación 22:



P1:

“Entonces tenemos grafito y diamante, pertenecen al mismo elemento...”

P2:

La relación 22 aparece en los momentos 10 y 11 cuando P2 se refiere a que las distintas formas alotrópicas están formadas por un mismo elemento.

P4:

“¿Y la sustancia simple?”

“Pues la mínima expresión de esos elementos que pueden existir, o sea, que de ahí para allá no se pueden separa...”

“...si uno habla de carbono grafito, carbono diamante, ambos serían elementos...”

“Ahora hay una relación íntima entre lo que es el elemento químico como tal, porque por ejemplo, uno habla de la materia, por ejemplo para el caso del azufre, uno habla del elemento azufre...”

P6:

“Una sustancia simple está constituida por un elemento...”

P12:

La relación 22 en el momento 16 está asociada al concepto de alótropos.

“Y carbono grafito y carbono diamante...”

“Son formas alotrópicas de los elementos.”

P13:

La relación 22, en el momento 5, muestra una concepción equivocada de P13 respecto al concepto de sustancia simple. *“...porque una sustancia simple, ya es la combinación de elementos...”*

P16:

La relación 22 aparece en el momento 9 relacionado con el concepto de alótropo, y en el momento 12 al relacionar sustancia simple y elemento como todo y parte respectivamente.

En resumen:

La relación 22 se utiliza para expresar que:

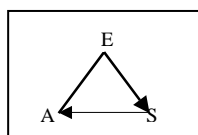
- Las distintas formas alotrópicas están formadas por un mismo elemento. P1, P2, P4, P12, P16
- Una sustancia simple es la combinación de elementos. P13
- Sustancia simple y elemento son todo y parte respectivamente. P6, P16
- Sustancia simple y elemento son parte y todo respectivamente. P4
- Sustancia simple como sinónimo de elemento. P4

Capítulo 6

	P1	P2	P4	P6	P12	P13	P16
Los distintos alótropos están formadas por un mismo elemento	x	x	x		x		x
Sustancia simple como sinónimo de elemento.			x				
Sustancia simple y elemento son parte y todo respectivamente			x				
Sustancia simple y elemento son todo y parte respectivamente				x			x
Una sustancia simple es la combinación de elementos.						x	

Tabla 34

Relación 27



P2:

“...un elemento es una sustancia formada por un solo tipo de átomo.”

P3:

“...elemento es una sustancia pura o elemental que está compuesta por átomos de la misma clase...”

P8:

“...elemento como una sustancia... compuesta por un mismo tipo de átomos...”

P10:

“El elemento es una sustancia pura que está constituida por una sola clase de átomos.”

P11:

“...elemento es una sustancia que está constituida por átomos.”

En resumen:

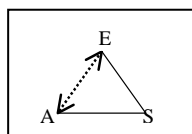
La relación 27 es empleada para expresar que:

- Una sustancia formada por un solo tipo de átomo. P2, P3, P8, P10, P11.

	P2	P3	P8	P10	P11
Una sustancia formada por un solo tipo de átomo	x	x	x	x	x

Tabla 35

Relación 28



P2:

“Pero elemento y átomo, no.”

“...un átomo no es un elemento, me parece a mí.”

P3:

“Porque el asunto de la masa es la sola diferencia entre átomo y elemento.”

P6:

“Elemento y átomo, no. (No son lo mismo).”

P8:

“Elemento, átomo, no realmente, pues a ver... es sí y no, se relacionan, pero no creo que sea lo mismo...”

P10:

“... elemento y átomo no es lo mismo.”

P12:

“Pero cuando uno habla de un elemento no necesariamente está hablando de un átomo.”

P15:

La relación 28 se encuentra en los momentos 1 y 6 cuando P15 plantea su posición de que elemento y átomo son dos conceptos diferentes.

En resumen:

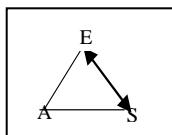
La relación 28 plantea que:

- Elemento y átomo no es lo mismo. P2, P3, P6, P8, P10, P12, P15

	P2	P3	P6	P8	P10	P12	P15
Elemento y átomo no es lo mismo	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 36

Relación 29



P2:

“...sustancia simple es lo mismo que elemento...”

“Elemento es la sustancia que uno encuentra en la naturaleza, que uno sabe o que uno averigua que no la puede descomponer en partes más simples.”

“...elemento y sustancia simple sería lo mismo para mí.”

P3:

“Un elemento es una sustancia simple.”
“Sustancia elemental es lo mismo que elemento...”

P6:

La relación número 29 indica que para P6 sustancia y elemento son una misma cosa. Esta relación está manifiesta ocho veces durante la entrevista en los momentos 1, 2, 3, 6, 11, 12, 13 y 15, mostrando una visión de elemento como sustancia.

“Un elemento químico es una sustancia que se encuentra en la naturaleza.”
“Una sustancia que no esta combinada con nada.”
“Un elemento es una sustancia que se encuentra en la naturaleza o que puede ser preparada artificialmente, pero que no está combinada absolutamente con nada.”
“Una sustancia simple... es un elemento.”
“La sustancia simple, sí... (es lo mismo).”
“Sí, entonces es lo mismo.”
“Un elemento es una sustancia que se encuentra en la naturaleza o es preparada artificialmente y que se encuentra en su estado elemental, solo, no combinado con nada.”
“Y sustancia sería lo mismo que elemento.”

P10:

“El elemento es siempre una sustancia pura...”

P12:

“...probablemente sí es análogo... una sustancia simple y un elemento.”

P16:

La relación 29 está presente en el momento 5 cuando P16 afirma que elemento es una sustancia simple.

En resumen:

La relación 29 es utilizada para manifestar que elemento y sustancia simple son sinónimos:

- Un elemento es una sustancia simple. P2, P3, P6, P10, P12, P16.

	P2	P3	P6	P10	P12	P16
Un elemento es una sustancia simple	x	x	x	x	x	x

Tabla 37

A continuación se analizaron las relaciones usadas por un solo docente, ya que ellas complementan el matiz particular que algunos dan en sus definiciones.

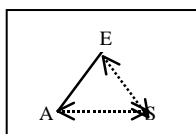
La tabla 38 resume las relaciones propias y la frecuencia de su uso. Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, a pesar de que P14 finalmente no hizo parte de las discusiones de este trabajo, se conservaron las relaciones dadas por él para no tener que rehacer todo lo demás.

Relación	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P15	P16
3	1													
6						2								
7*														
8										1				
9	1													
13*														
15*														
18										1				
20												1		
23														1
24							2							
25										1				
26										1				
Propias	2					1	1			4		1		1

Tabla 38 * Las relaciones 7, 13 y 15 fueron propuestas por P14.

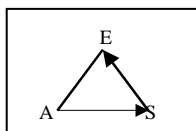
P1:

Relación 3



“...sustancia simple es distinta de elemento y de átomo.”

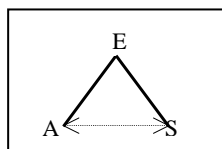
Relación 9



“...los isótopos son sustancias diferentes del mismo elemento...”

P7:

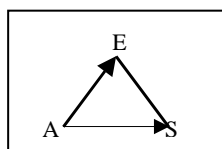
Relación 6



“... las propiedades de las partículas atómicas y las propiedades de la estructura macro, hay diferencias entre las propiedades...”

P8:

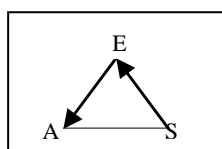
Relación 24



“... hablas de un átomo hablas de una unidad de esa sustancia ¿cierto? O de ese elemento...”

P11:

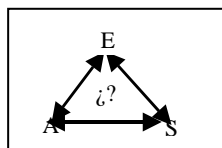
Relación 8



(Carbono grafito y carbono diamante...)

“... es carbono, están constituidos por átomos...”

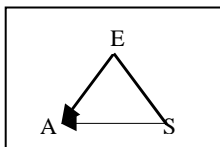
Relación 18



¿Es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?

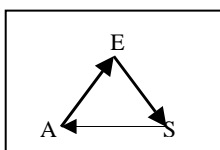
“...no sabría decirlo...”

Relación 25



“(los isótopos) ...son elementos o son sustancias que tienen átomos de carbono...”

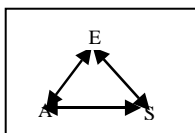
Relación 26



“Un elemento es una especie química que está constituida por átomos de él mismo...”

P13:

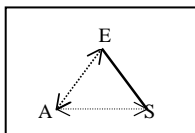
Relación 20



“Elemento, átomo y sustancia simple... casi nosotros los químicos hablamos de las mismas cosas.”

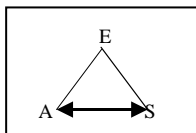
P14:

Relación 7



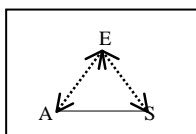
La relación 7 está presente en el momento 8, diferenciando, explícitamente el concepto de átomo del de elemento y el de sustancia simple.

Relación 13



La relación 13 aparece equiparando el significado de átomo con el de sustancia simple como si fueran una misma cosa.

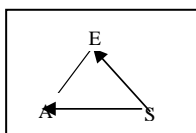
Relación 15



La relación 15 presente en el momento 2, sin embargo, muestra que para P14 elemento es un concepto distinto de átomo y de sustancia simple.

P16:

Relación 23



La relación 23 se encuentra en el momento 11, cuando nuevamente se sugiere que átomos y elementos son equivalentes ya que son los constituyentes últimos de la materia.

En síntesis:

La preferencia por el uso de unas determinadas relaciones sugiere entonces las visiones de las que venimos hablando.

La tabla 39 permite clasificar a los 14 profesores en cinco grupos de acuerdo a su visión de elemento. Estas visiones son elemento como: sustancia, átomo, símbolo, especie e indefinida.

La visión de elemento como sustancia está determinada principalmente por el uso simultáneo de las relaciones 29 y 28. La visión de elemento como átomo está caracterizada por el uso de las relaciones 1 y 2. La visión de elemento como símbolo está descrita por la relación 16. La visión de elemento como especie definida por el uso simultáneo de las relaciones 19 y 28. La visión indefinida está marcada por las relaciones 17 y 18 y por el uso indiscriminado de diferentes relaciones entre los tres conceptos en cuestión.

	Visiones	1					2	3			4	5			
		P2	P3	P6	P10	P12	P7	P1	P8	P9	P15	P4	P11	P13	P16
29	Un elemento es una sustancia simple	6	7	8	18	3									1
28	Elemento y átomo no es lo mismo	2	1	1	14	2		2		2					
27	Una sustancia formada por un solo tipo de átomo	3	1					1				1			
1							4	8		1		1		2	
	Elemento y átomo están muy ligados						x	x		x		x		x	
	Un elemento es definido como una estructura atómica						x								
	Un elemento está caracterizado por Z						x								
2	Sustancia simple no se refiere a un elemento.			2			3		1						
	Como visión atomista contundente						x								
	Como resultado de un proceso metacognitivo			x					x						
6	Hay diferencias entre las propiedades de las partículas atómicas y las de la estructura macro						1								
16								1	1	1					1*
	Elemento es como el principio de algo								x						
	El nombre de la sustancia.							x							
	El elemento es un nombre que se le ha dado a los diferentes átomos.									x					
	El elemento sería como el símbolo							x							
	El átomo es un conjunto de partículas.														x
3	Sustancia simple es distinta de elemento y de átomo.							1							
9	Los isótopos son sustancias diferentes del mismo elemento.							1							
24	Un átomo es una unidad de esa sustancia o de ese elemento...								1						
19	Elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes					1			1		1	1			
17	No sabe definir los tres conceptos										1			1	
18	No sabe si los tres conceptos son iguales											1			
20	Elemento, átomo y sustancia simple son equivalentes													1	
7	Átomo es distinto de elemento y de sustancia simple														x
13	Átomo es lo mismo que sustancia simple														x
15	Elemento es distinto de átomo y de sustancia simple														x
23	Elemento equivalente a átomo constituyente de la materia														1
25	(los isótopos) ...son elementos o son sustancias que tienen átomos de carbono...												1		
26	Un elemento es una especie química que está constituida por átomos de él mismo...												1		

	Visión: sustancia	P2	P3	P6	P10	P12	P7	P1	P8	P9	P15	P4	P11	P13	P16
29	Un elemento es una sustancia simple	6	7	8	18	3									1
28	Elemento y átomo no es lo mismo	2	1	1	14	2			2		2				
27	Una sustancia formada por un solo tipo de átomo	3	1						1				1		
4		1	2	11	5	4	2			2	4	3	1	1	3
	Elemento caracterizado por Z			x	x	x	x				x		x	x	
	Elemento está formado por átomos			x		x									x
	Elemento puede tener isótopos		x	x							x				
	Elemento es un tipo de átomo		x							x					
	Elemento implica una definición de átomo	x													
	Elemento está caracterizado por el átomo				x										
	Elemento tiene propiedades marcadas por su configuración electrónica														x
5			3	2	3	2	3		1		3	1			1
	Un átomo es la mínima parte de un elemento		x		x	x	x				x				x
	Los átomos de ese elemento vienen combinados (isótopos)				x	x	x		x		x				
	Los átomos tienen Z definido para cada elemento			x			x				x	x			
	Un grupo de átomos forma un elemento		x	x											
	La distribución electrónica se refiere a átomos de un elemento				x										
22		2		1		1		1				3		1	2
	Los distintos alótropos están formadas por un mismo elemento	x				x		x				x			x
	Sustancia simple y elemento son todo y parte respectivamente			x											x
21				3		4		1	5			1	1		2
	Los elementos constituyen la materia.					x		x	x			x			x
	Elementos presentes en distintas formas alotrópicas.			x											
	Elemento como sustancia (colección de átomos) natural o sintética					x							x		
2	Sustancia simple no se refiere a un elemento.			2			3		1						
	Como resultado de un proceso metacognitivo			x					x						
10	Sustancia simple es aquella que está formada por átomos de un mismo elemento					1	3	1*	1,	2*			1*		1,
						1			1*						1*
19	Elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes					1			1		1	1			
14	Un elemento puede tener varios isótopos y varios alótropos			x											
16								1	1	1					1*
	El átomo es un conjunto de partículas.														x

Tabla 40

La tabla 41 indica que sólo P7 exhibe una visión de elemento como átomo.

	Visión: átomo	P2	P3	P6	P10	P12	P7	P1	P8	P9	P15	P4	P11	P13	P16
1							4	8		1		1		2	
	Elemento y átomo están muy ligados						x	x		x		x		x	
	Un elemento es definido como una estructura atómica						x								
	Un elemento está caracterizado por Z						x								

Capítulo 6

2	Sustancia simple no se refiere a un elemento.			2			3		1						
	Como visión atomocista contundente						x								
4		1	2	11	5	4	2			2	4	3	1	1	3
	Elemento caracterizado por Z			x	x	x	x				x		x	x	
	Elemento está muy relacionado con átomo						x								
5			3	2	3	2	3		1		3	1			1
	Un átomo es la mínima parte de un elemento		x		x	x	x				x				x
	Los átomos de ese elemento vienen combinados (isótopos)				x	x	x		x		x				
	Los átomos tienen Z definido para cada elemento			x			x				x	x			
10	Sustancia simple es aquella que está formada por átomos de un mismo elemento					1	3	1*	1, 1*	2*			1*		1, 1*
6	Hay diferencias entre las propiedades de las partículas atómicas y las de la estructura macro						1								

Tabla 41

La tabla 42 corresponde a las relaciones empleadas por quienes traslucen una visión abstracta del concepto elemento. La característica común en este grupo es que consideran que elemento es el nombre o el símbolo de algo material, sea el átomo o la sustancia simple.

	Visión: símbolo	P2	P3	P6	P 10	P 12	P7	P1	P8	P9	P 15	P4	P 11	P 13	P 16
16								1	1	1					1*
	Elemento es como el principio de algo								x						
	El nombre de la sustancia.							x							
	El elemento es un nombre que se le ha dado a los diferentes átomos.									x					
	El elemento sería como el símbolo							x							
	El átomo es un conjunto de partículas.														x
11									1	3					
	Los átomos componen la sustancia								x	x					
	El átomo es lo real, la materia									x					
4		1	2	11	5	4	2			2	4	3	1	1	3
	Elemento es un tipo de átomo		x							x					
	Elemento es el nombre de un átomo									x					
5			3	2	3	2	3		1		3	1			1
	Los átomos de ese elemento vienen combinados (isótopos)				x	x	x		x		x				
28	Elemento y átomo no es lo mismo	2	1	1	14	2			2		2				
27		3	1						1				1		
22		2		1		1		1				3		1	2
	Los distintos alótropos están formadas por un mismo elemento	x				x		x				x			x
21				3		4		1	5			1	1		2
	Los elementos constituyen la materia.					x		x	x			x			x
1							4	8		1		1		2	
	Elemento y átomo están muy ligados						x	x		x		x		x	
2	Sustancia simple no se refiere a un elemento			2			3		1						

	Como resultado de un proceso metacognitivo			x													
10	Sustancia simple es aquella que está formada por átomos de un mismo elemento					1	3	1*	x	1,	2*			1*			1,
14			1						2					1			
	Elemento es la parte y el todo								x					x			
19	Elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes					1			1			1	1				
3	Sustancia simple es distinta de elemento y de átomo.							1									
9	Los isótopos son sustancias diferentes del mismo elemento.							1									
24	hablas de un átomo hablas de una unidad de esa sustancia o de ese elemento...								1								

Tabla 42

La tabla 43 indica que sólo P15 exhibe en sus respuestas una visión de elemento como especie.

	Visión: especie	P2	P3	P6	P 10	P 12	P7	P1	P8	P9	P 15	P4	P 11	P 13	P 16
19	Elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes					1			1		1	1			
4		1	2	11	5	4	2			2	4	3	1	1	3
	Elemento caracterizado por Z			x	x	x	x				x		x	x	
	Elemento puede tener isótopos		x	x							x				
5			3	2	3	2	3		1		3	1			1
	Un átomo es la mínima parte de un elemento		x		x	x	x				x				x
	Los átomos de ese elemento vienen combinados (isótopos)				x	x	x		x		x				
	Los átomos tienen Z definido para cada elemento			x			x				x	x			
28	Elemento y átomo no es lo mismo	2	1	1	14	2			2		2				

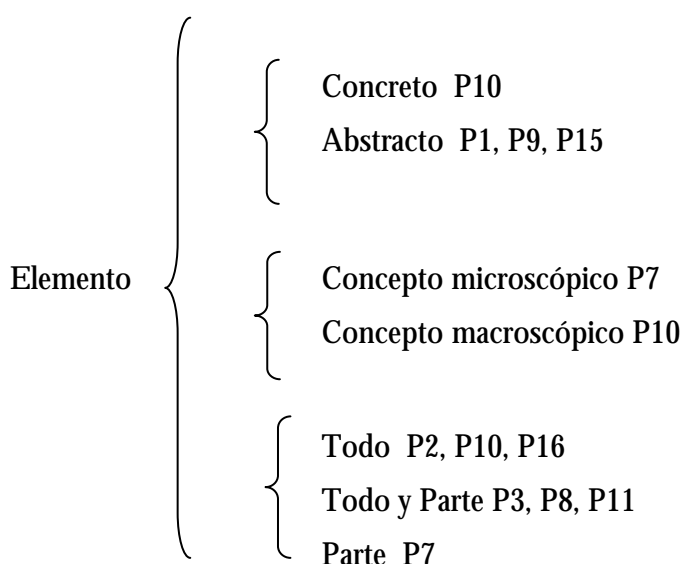
Tabla 43

Por último, la tabla 44 corresponde a aquellos profesores que explícitamente manifestaron que no sabían definir alguno o todos los conceptos en cuestión, o que no sabían si los tres conceptos eran equivalentes. También hace parte de este grupo quien dio respuestas que no permiten una clasificación dentro de los cuatro grupos anteriores.

	Visión: indefinida	P2	P3	P6	P 10	P 12	P7	P1	P8	P9	P 15	P4	P 11	P 13	P 16
17	No sabe definir los tres conceptos											1			
18	No sabe si los tres conceptos son iguales												1		
20	Elemento, átomo y sustancia simple son equivalentes													1	
4		1	2	11	5	4	2			2	4	3	1	1	3
	Elemento caracterizado por Z			x	x	x	x				x		x	x	
	Elemento está formado por átomos			x		x									x
5			3	2	3	2	3		1		3	1			1
	Los átomos tienen Z definido para cada elemento			x			x				x	x			
29	Un elemento es una sustancia simple	6	7	8	18	3									1
27	Una sustancia formada por un solo tipo de átomo	3	1						1				1		
22		2		1		1		1				3		1	2

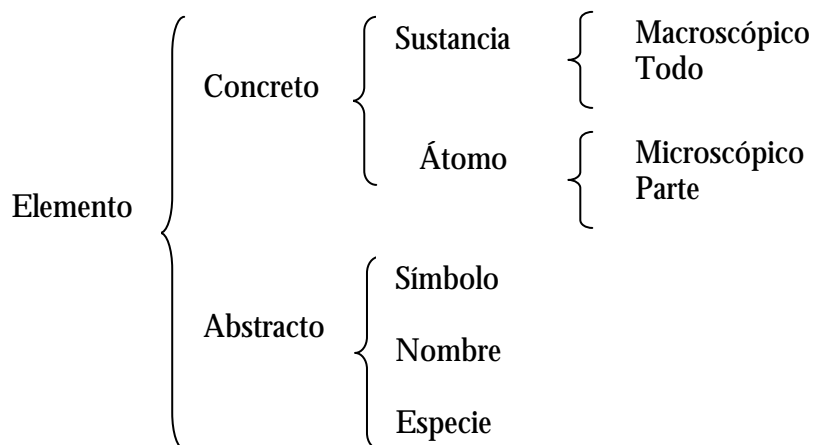
De acuerdo con el análisis que hemos realizado de la revisión del Journal of Chemical Education y de los libros de texto, lo que se puede observar es que un lector novel o un estudiante que quiere aprender qué es un elemento químico acudiendo directamente a distintas fuentes de información, lo que encuentra tanto en la literatura científica, como en los libros universitarios de química o en un medio tan popular como el internet, es más confusión que claridad.

Ahora bien, cabría esperarse que los profesores universitarios de química, como mediadores del proceso de transposición del conocimiento, tuvieran una idea unificada de un concepto que se enseña desde los primeros cursos, como lo es el concepto en cuestión. Más aún, este grupo de profesores y profesoras del departamento de química de la Universidad del Valle, que ha constituido la muestra mayoritaria en esta investigación, ha enseñado en distintas ocasiones el mismo curso de Química General simultáneamente y la evaluación de tales cursos se ha realizado mediante un único cuestionario preparado por una comisión de ellos. Por tanto, y con mayor razón, parecería obvio que todos se refirieran a lo mismo al utilizar una misma palabra. Sin embargo, las redes 1 y 2 muestran la realidad que encontramos.



Red 1

A partir de las “dimensiones” identificadas se pueden establecer las correlaciones que dan lugar a la red 2.



Red 2

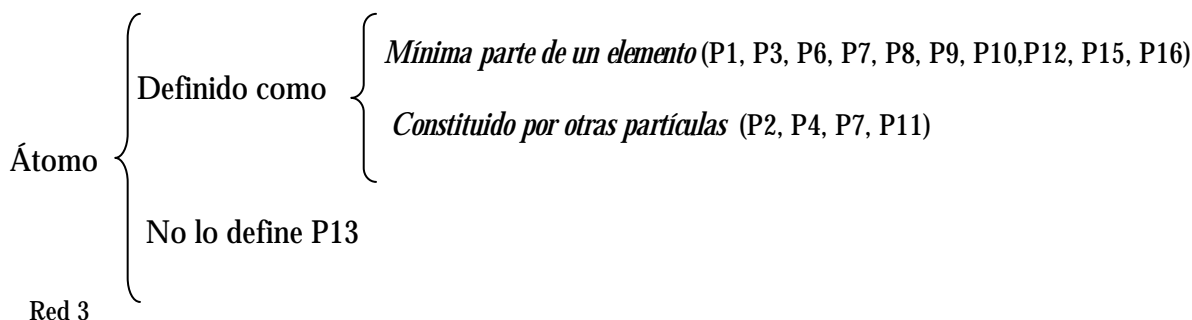
Estas respuestas ratifican que, aun entre los profesores universitarios de química, como ocurre en la literatura científica, los libros de texto y el internet, no existe una definición concertada de elemento

De ahí que hayamos encontrado cinco visiones de diferentes: una primera que lo considera lo mismo que sustancia, una segunda que considera que elemento es un símbolo o el nombre que se le da a un tipo de átomo o de sustancia, una tercera que considera el elemento como sinónimo de átomo, una cuarta que lo considera una “especie” de átomos (Menschutkin, 1937) y una última que manifiesta no saber definir un elemento o que tiene una definición muy confusa o muy vaga de este concepto

4. 2. ¿Es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?

Los profesores entrevistados, en general, definieron átomo como la mínima parte de un elemento o como una partícula constituida por otras partículas, como se observa en la Red 3. Sólo P7, quien manifestó una visión de elemento como átomo, añadió que:

“...el concepto de elemento y átomos están ligados...[...] Un elemento es una estructura atómica caracterizada por tener un número atómico n y un número n de electrones y un número n de protones.”



Ahora bien, esta definición de átomo como *parte de un elemento* y como *todo constituido por otras partículas*, se encuentra representado gráficamente (Figura 1), como se mencionó en el marco teórico, en la página :

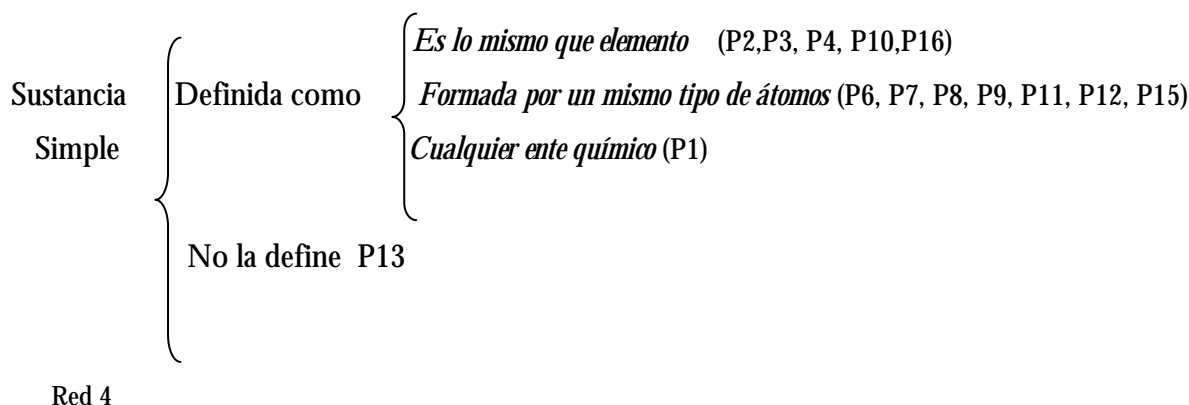
<http://www.codelco.com/educa/divisiones/norte/estudio/naturales4.html>

Es interesante observar en este gráfico que el símbolo químico está asociado directamente al átomo, aunque en la definición escrita en la misma página lo refiere al elemento: “*El símbolo químico de un elemento es la representación gráfica y abreviada de su nombre.*” Este es otro factor de confusión, que ya ha sido reconocido por la IUPAC (Thibault et al., 1994) y que también fue cuestionado por alguno de los profesores entrevistados.



Figura 1

En cuanto a la definición de sustancia simple, entre las respuestas proporcionadas por los profesores, encontramos la definición explícita de elemento como sustancia como lo muestra la Red 4. Esto originó, como ya se analizó, una de las cinco visiones de elemento.



Como se observa en las Redes 3 y 4, P13 no contestó personalmente las preguntas referentes a las definiciones de elemento, átomo y sustancia, pero entregó por escrito el texto tomado de:

<http://webserver.lemoyne.edu/faculty/giunta/EA/ATOMS.HTML> y que transcribimos a continuación, ya que consideramos que ilustra que elemento, átomo y sustancia simple son tres conceptos diferentes, aunque estén íntimamente relacionados entre sí. Además abre el camino para la continuación de esta discusión.

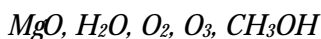
*Un **átomo** es la estructura individual que constituye la unidad básica de cualquier elemento.*

*¿Cuál es la definición correcta de **elemento**?*

- *Un elemento es una sustancia que no puede ser descompuesta en otra más simple. (Heyworth, 1999)*
- *Un elemento es una sustancia que no puede ser descompuesta por métodos químicos en otra más simple. (Chung 1997)*
- *Un elemento es una sustancia pura que no puede ser descompuesta por métodos químicos en otra más simple. (Cheng & Chow, 1999)*

*La mayoría de los elementos consisten de una mezcla de isótopos y ellos no son sustancias puras. Los isótopos de un elemento se pueden separar por métodos físicos, por difusión o por espectrometría de masas. También los isótopos de algunos elementos pueden ser separados por métodos químicos como la electrólisis. Cada isótopo de un elemento es una **sustancia pura**.*

Entonces, ¿cuál es la definición moderna de elemento? Un elemento está formado por átomos, todos ellos con el mismo número de protones en su núcleo. Un elemento se identifica por su número de protones (número atómico), así él exista como átomo o como compuesto. Por ejemplo, todas las siguientes sustancias contienen el elemento oxígeno:



En todas las fórmulas el O representa al elemento oxígeno que tiene 8 protones en el núcleo.

<http://webserver.lemoyne.edu/faculty/gjunta/EA/ATOMS.HTML>

Para facilitar la comprensión por parte de los estudiantes de la definición moderna de elemento, los profesores deben modificar la secuencia de los tópicos presentados en algunos textos. No se debe empezar con el tópico de "elementos". Una posible secuencia podría ser la siguiente:

- *la estructura de un átomo*
- *número atómico y número másico*
- *definición de elemento*
- *nombres y símbolos de los elementos*
- *isótopos*

Referencias: Cheng E. & Chow, J. (1999). *Chemistry: A modern view (4thed.)*. Wilson Welch.
 Chung L.H.M. (1997). *Integrated chemistry today (2nded.)*. Jing Kung
 Heyworth, R. (1999). *Chem 2000 (2nded.)*. Macmillan.
 Roundy, W.H. (1989). *What is an element? J. of Chem.Ed.*, vol. 66(9), pp.729-730.
<http://www3.fed.cuhk.edu.hk/chemistry/element.html>

De otra parte, esta investigación también mostró que la reflexión acerca de las definiciones de muchos de los conceptos utilizados frecuentemente en el aula, no parece ser una práctica habitual entre los docentes. Anteriormente se comentó sobre las expresiones de sorpresa o de risa cuando se les solicitó que definieran el concepto elemento. Una situación similar se dio al hablar sobre el concepto sustancia simple. Al respecto, algunas de las respuestas obtenidas fueron:

"...el oxígeno, por ejemplo, es una sustancia, aunque el nombre técnico no podía ser sustancia, porque sustancia es cualquier cosa, cualquier cosa que uno vea es una sustancia. Llamemos más bien molécula. [...] Bueno, sí, es que sustancia puede ser cualquiera de estos, si lo acepta así, cualquiera de estos son sustancias, porque usted tiene siempre cantidades de... tantos gramos de esto, tantos miligramos de berilio están en un frasquito, usted dice, eso es una sustancia, es un ente químico, y el ente químico puede ser simple como un átomo o como puede ser una molécula. Ya es cuestión de semántica, cuestión de definir bien qué es una sustancia, qué es un elemento, qué es un átomo y qué es una molécula..." (P1)

"Pues la mínima expresión de esos elementos que pueden existir, o sea, que de ahí para allá no se pueden separar, ¿sí?. Si yo me pongo en ese intríngulis de separar cada una de las cosas... así... porque,

por ejemplo, si uno habla de carbono grafito, carbono diamante, ambos serían elementos, [...] Ambos son elementos, en estados distintos, pero ambos son elementos naturales y hasta ahora se pueden conseguir artificialmente también, y ¿entonces? Ante esa pregunta, en estos momentos, ¿cómo hace uno para hacer la distinción cuando ya estamos hablando de otras partículas dentro del mismo átomo?” (P4)

“...pero el concepto de sustancia simple para mí es un concepto macro, no es un concepto micro y nanoscópico ni subnanoscópico, es un concepto mucho más macro. Y eso sí, la interpretación de eso sí es a libre albedrío porque ¿qué se entiende por una sustancia simple? ¿Una sustancia que está formada por átomos del mismo elemento? ¿sí? y que en consecuencia digamos una porción de materia suficientemente grande, una cierta cantidad de materia suficientemente grande, un número grande de átomos de un mismo elemento ¿sí? O una sustancia simple uno podría también entender como una estructura molecular en la que ya no hay átomos de un mismo elemento sino que puede haber átomos de dos elementos...no sé... Para mí el concepto, digamos, de sustancia simple se refiere más a, de pronto, a una estructura macroscópica hecha de átomos de un mismo elemento, mas no se refiere a un elemento.” (P7)

“...definamos elemento como una sustancia... compuesta por un mismo tipo de átomos, aunque cuando me digas que defina sustancia simple voy a empezar a problemas porque utilizaría casi la misma definición.” (P8)

“Pues yo nunca me he preocupado por pensar en sustancias simples.” (P9)

“...una sustancia simple es aquella que está constituida por partículas de ella misma. [...]Por átomos, por átomos de ella misma e iguales.” (P11)

“... Ahora, cuando es una sustancia simple, ya la cosa cambia un poco, porque una sustancia simple, ya es la combinación de elementos... quizás ahí hay...” (P13)

“Es que para mí, no me gusta la definición., Porque podríamos definir, algún libro lo dice, pero a mí no me gusta, que es aquella que está formada por un solo átomo, o por un solo tipo de átomos, y eso ya entra en contradicción, porque no sería ni el elemento, sería el átomo. Por lo tanto a mí, hablar de [...] la sustancia podría tener muchos átomos. Por ejemplo, un gramo de litio, ahí sería una sustancia y ¿cuántos átomos hay ahí? Ahí hay millones de millones de millones...” (P1)

No, no, yo digo que es la masa, ¿cierto? O sea, si yo tuviera un átomo la masa sería muy pequeñita, ¿verdad? Diez a la menos 24 gramos, diez a la menos 23 gramos, y no lo podría pesar. En cambio, una colección, un número grande de átomos, si ya me da un... la diferencia la dejo en la masa, en lo otro, no... es que tener un átomo es diez a la menos 22 gramos, diez a la menos 23 gramos... ¿no? (P3)

“Pero el elemento sigue siendo un concepto macroscópico, no microscópico. Es decir, yo no puedo decir que este átomo sea un elemento, ¿no? Esa es una cosa porque no hay otra forma de decirlo, porque el átomo es el átomo, el elemento es una cosa macroscópica.[...]¿cuántos átomos hará falta para que haya elemento? Realmente, no se sabe, pero con seguridad uno solo no es... no se sabe a partir de cuántos usted dice que ya tiene un elemento, no se sabe... sí, nadie sabe...[...] ...cuando usted estudia las propiedades termodinámicas no estudia las propiedades termodinámicas de una partícula, no, no tiene sentido las propiedades termodinámicas de una partícula, usted estudia las propiedades termodinámicas de un conjunto de partículas... A partir de cuántas partículas usted ya no puede hablar de propiedades termodinámicas, pues no lo sabe ¿no? El concepto de temperatura, usted no puede hablar del concepto de temperatura con una sola partícula, no, el concepto de temperatura es un concepto macroscópico, es un concepto que pertenece a la acción o al juego de muchas partículas, no de una sola partícula.” (P10)

sustancia simple.. no me gusta... [...]No hablaría, en ningún caso de sustancia simple en el diccionario.” (P15)

“Sustancia simple es fácil, ¿no? No le veo... No sé si metafísicamente hay más problemas, yo no se los veo... [...] La que está formada por un único tipo de átomo.” (P16)

A raíz de las definiciones de sustancia simple, surgió una nueva pregunta. Si para algunos profesores el elemento es una sustancia simple que no puede descomponerse en otras más sencillas, ¿cuántos átomos se necesitan entonces para tener un elemento? (Ben-Zvi et al., 1986).

Como ya se dijo en el marco teórico, antes de conocerse el átomo cuántico, ya se hablaba de un “átomo químico”. Este “átomo químico” permitía explicar de manera razonable aunque superficial los cambios químicos, asociándolos al modelo mecanicista de la materia y sustituyendo a la magia natural. Siguiendo la nomenclatura de Izquierdo denominaremos Md (modelo de Dalton) a este “átomo químico” (Izquierdo, 2003).

La magnitud fundamental de la química, la cantidad de sustancia, el mol, está directamente relacionada con estos átomos químicos. Esta magnitud, n , es proporcional al número de entidades elementales de la sustancia, suponiendo de antemano que la constante de proporcionalidad es la misma para todas las sustancias (el número de Avogadro). Las respuestas de P1, P3 y P10 parecen referirse a estas unidades de sustancia en las que, según Nelson (1991) citado por Izquierdo (2003), “*unos cuantos millones de millones más o menos de átomos no tiene importancia*”.

Sin embargo, como resultado de los estudios de difracción de Henry Rowlandy de los descubrimientos de los elementos radiactivos de los esposos Curie, surgió un nuevo modelo de átomo, el “átomo físico”.

Este nuevo átomo físico-químico, surgido de la mecánica ondulatoria, al que denominaremos Ma (modelo del átomo cuántico), siguiendo a Izquierdo (2003), comenzó a aparecer en los libros de texto a partir de la edición en 1947 del libro Química General, de Linus Pauling (Izquierdo, 2003) y el estudio de sus propiedades comenzó a desplazar a las del antiguo Md.

Las continuas investigaciones sobre este Ma ha ido implementando técnicas experimentales más y más sofisticadas que requieren cada vez una menor cantidad de sustancia, hasta el punto en que hoy en día ya se habla de la “química de un solo átomo” (one atom at a time chemistry) (Hoffman y Lee, 1999). Es cierto, como afirma P10 o como lo manifiestan Ben Zvi et al.(1986), que no basta uno solo para estudiar propiedades termodinámicas, pero sí se puede, en cambio, estudiar su decaimiento radiactivo..

Retomando la analogía de elemento como especie biológica, átomo como individuo y sustancia simple como población, podemos decir que así como un individuo no es una especie, un átomo tampoco es un elemento. Sin embargo, un individuo sí es un representante de la especie, al igual que un átomo es un representante del elemento. Un átomo de un elemento contiene la información básica que define a ese elemento: el número de protones en su núcleo, y por lo tanto, lo representa, pero se está ignorando la variabilidad isotópica del elemento, así como se ignora la variabilidad de una especie cuando se toma un solo individuo como su representante. Por esta razón, Adloff y Guillaumont, citados por Hoffman y Lee (1999), han cuestionado la validez de las conclusiones obtenidas sobre el comportamiento químico de un elemento basadas en el estudio de un número muy pequeño de sus átomos y han sugerido que sería válido combinar los resultados de muchos experimentos individuales con un solo átomo a fin de obtener resultados estadísticamente significativos.

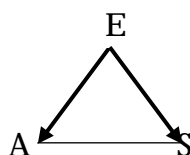
De manera similar, así como una “especie” puede tener diferentes “poblaciones”, un elemento puede presentarse bajo distintas formas alotrópicas. Por lo tanto, las propiedades termodinámicas a que se refieren P10 y Ben-Zvi et al. (1986), pertenecen a la sustancia simple, no al elemento en sí, y por lo tanto, pueden variar para los diferentes alótropos, como sucede, por ejemplo, con los puntos de fusión o de ebullición del diamante y el grafito, aunque ambos pertenezcan al elemento carbono.

Respondiendo entonces la pregunta: ¿cuántos átomos se necesitan para tener un elemento? Yo me atrevería a responder que un átomo es suficiente para representarlo ya que contiene la información mínima que lo caracteriza, Z. Pero, sin olvidar que se estaría dejando de lado toda la variabilidad isotópica del mismo.

En cuanto a la pregunta: ¿cuántos átomos se necesitan para tener una sustancia simple? Diría que, aunque la unidad de sustancia química continúa siendo el mol, en plena era de las nanotecnologías, cuando ya es posible construir materiales siguiendo su crecimiento capa por capa de átomos¹, no me siento en capacidad de responder de manera exacta y precisa esa pregunta. Considero que aún está por definir dónde se encuentra en este momento la frontera que delimita el macro y el microcosmos.

Y al referirnos nuevamente a lo microscópico y a lo macroscópico vuelve a aparecer el concepto elemento que abarca las dos dimensiones, los átomos y las sustancias simples, como lo muestra la Red 2, que resume lo expresado por los profesores respecto al concepto elemento y su relación con los conceptos átomo y sustancia simple.

Por otra parte, el análisis de las respuestas de los profesores a las preguntas: “¿Qué es para usted un elemento?” y “¿Es lo mismo elemento, átomo y sustancia simple?”, que dieron como resultado las cinco visiones de elemento, puso en evidencia que, a pesar de que algunas definiciones equiparan el concepto elemento con el de átomo y otras con la de sustancia simple, no existe, en general, una transitividad entre estos dos últimos conceptos. Solamente P14, quien fue retirado de la muestra investigada, manifestó en algún momento de la entrevista: “Para mí un átomo es una sustancia simple.” En todas las intervenciones de los profesores lo que se pudo observar es que elemento es el punto de unión entre el átomo y la sustancia simple (Bensaude-Vincent, citada por Pacault, 1994). Como manifestó P6 en la segunda entrevista: “En el concepto de elemento hay que tener en cuenta que existen los isótopos, también el estado en que se encuentra.”



De esta manera, bajo la óptica de la analogía de la especie, estarían contemplados todos los “individuos”, es decir, los isótopos, y todas las “poblaciones”, es decir, los alótropos o, como dice P6, el estado en que se encuentra.

¹ Nanotechnology: Shaping the world atom by atom. National Science and Technology Council. September 1999, Washington, D.C:

4.3. ¿Qué hay en la tabla periódica? ¿símbolos, átomos o sustancias simples?

Para cerrar esta discusión sobre las diferentes visiones del concepto elemento, vamos a triangular la información analizada anteriormente con otras respuestas que nos dieron los profesores en algunos otros momentos de la entrevista como, por ejemplo, cuando se les presentaron los siete formatos de tabla periódica con el fin de que nos comentaran acerca de ellos. Esto no ayudará a consolidar nuestras observaciones acerca de lo que cada profesor “ve” en cada casilla de la tabla periódica.

Como dice Bensaude-Vincent, (1991, p.517):

“...de sentido común, cuando se quiere clasificar, es mejor saber qué se va a clasificar...”

Cuando Mendeleiev formuló su ley periódica dejó en claro que los elementos y los cuerpos simples (o sustancias simples, como los denomina en otras partes de sus *Principios* son dos conceptos diferentes: *“La ley periódica expresa las propiedades de los elementos, no de los cuerpos simples.”* Además, sin conocer la estructura atómica, ya presentía que allí residía la base de sus observaciones en los cuerpos simples y compuestos: *“Es probable que ella resida en los principios fundamentales de la mecánica interna de los átomos y las moléculas”.*

Sin embargo, a pesar de que en varias ocasiones había demarcado las diferencias entre cuerpo simple y elemento en su libro, por una parte escribió:

*“Los **cuerpos simples** se designan por una o dos letras. Los cuerpos compuestos se designan por la yuxtaposición de los cuerpos simples, por ejemplo: HgO.”*

*“Al **símbolo** de cada **cuerpo simple** corresponde un cierto peso relativo, llamado peso atómico, así que la fórmula química de un cuerpo compuesto expresa no sólo la calidad de los cuerpos simples que lo constituyen, sino también la proporción cuantitativa de cada uno de ellos”.*

Y después escribió esos mismos símbolos en su “tabla de elementos”, con lo cual cuando su ley pasó de la palabra escrita a la representación en una inscripción ocurrieron dos cosas simultáneamente. Si bien por un lado su tabla periódica organizó en una forma compacta gran parte del conocimiento químico acumulado hasta ese entonces, por otro, dejó en

manos del lector su libre interpretación. ¿Qué representan en definitiva los símbolos químicos que hay en la tabla periódica? ¿Elementos, átomos o sustancias simples?

Como dice Peirce, citado por Marty (2002), un signo no es un signo hasta que no es interpretado como tal, y en el caso particular de la tabla periódica existen variadas interpretaciones de lo que hay allí contenido. Como afirma Izquierdo (2002): *“... parece como si las inscripciones adquirieran vida propia y, una vez aparecen en los textos, se independizaran de su autor y escapan a su control, pasando a ser lo que las nuevas audiencias deciden hacer con ellas.”* Lo único objetivamente evidente en la tabla periódica es que reúne una serie de símbolos que sólo tienen sentido para quienes conocen algo de química. Al respecto Campell, (1989) opina que: *“En casi todos los salones de clase hay una tabla periódica grande, llena de letras y números que la mayoría de los estudiantes no comprende.”*

Durante las dos entrevistas que se realizaron en esta investigación los profesores tuvieron varias oportunidades para expresar lo que “veían” en la tabla periódica.

“...lo que tenemos aquí en la tabla periódica son las unidades básicas que forman la química. [...] Así los podíamos llamar átomos, los átomos... en la naturaleza encontramos estas unidades básicas que forman la química.” (P1)

“Todos (los formatos) me sugieren lo mismo. [...] me traen a la mente más o menos la misma imagen que yo siempre tengo en la mente de la tabla periódica. Yo pienso en átomos con electrones distribuidos alrededor de ellos y esos electrones, pues debido a que yo soy teórico, entonces, pues la imagen mental que te acabo de escribir pues obviamente es una imagen pictórica, pero siempre me viene a la mente el modelo de Hartree – Fock, que es el modelo que le permite a uno visualizar los electrones como partículas independientes pero a la vez interaccionando entre ellos, pero con un potencial promedio, y eso es lo que permite explicar, pues, por lo menos de la manera más sencilla, la tabla periódica. Es un modelo matemático que me viene a la mente también, no solamente un modelo pictórico.” (P2)

“...esta tabla está recargada de mucha información para el estudiante, pero yo solamente quiero rescatar lo fundamental de la tabla allí, que es estructura atómica, como cambian algunas propiedades de acuerdo al grupo y al periodo, como cambia el carácter metálico o la reactividad, ¿cierto? En la tabla periódica.” (P3)

“El formato es la tabla periódica como yo la he conocido toda la vida y están ubicados los elementos de acuerdo a sus propiedades químicas.” (P6)

“¿qué pienso yo cuando veo la tabla periódica? Pienso que pienso en química, ¿no? Eso es lo primero que se me viene a la cabeza, pero fijate que de pronto es más profundo que química. Tú te pones a ver, esto es la composición del universo, como la conocemos nosotros. [...]Jestos mismos elementos que están aquí están en cualquier parte del universo, pueden encontrarse en cualquier parte del universo y cualquier cultura inteligente podría hacer un alfabeto con todas sus letras.” (P8)

“No se puede hablar de elemento conociendo un solo átomo y es un problema que tiene la tabla periódica, que cuando usted ve la tabla periódica usted ve realmente propiedades de átomos, propiedades de átomos... el potencial de ionización es una propiedad es del átomo, entonces uno llega a confundir lo que es elemento con lo que es átomo. Pero no es lo mismo, y el problema es que el elemento... cuando usted tiene hidrógeno, o digamos un barril con hidrógeno, el símbolo de ese barril, de esa sustancia que hay ahí pura, es el H y el símbolo de las partículas que constituye ese elemento es también H y uno llega a confundir el elemento con el átomo, pero no es lo mismo.” (P10)

“... Una tabla que sólo te da los símbolos de los elementos básicamente y la configuración electrónica.” (P15)

“¿Y qué es una tabla periódica? Es una ordenación de los elementos de acuerdo con su número atómico...” (P16)

De modo que, de acuerdo con estas respuestas, podemos observar que la misma tabla parece contener: “*unidades básicas, llamadas átomos*”, “*átomos con electrones distribuidos alrededor de ellos.. (según) el modelo de Hartree – Fock, [...] ... un modelo matemático*”, “*estructura atómica*”, “*elementos (ubicados) de acuerdo a sus propiedades químicas*”, “*los símbolos de los elementos*”, “*los elementos de acuerdo con su número atómico..*” y “*cualquier cultura inteligente podría hacer un alfabeto con todas sus letras.*”

Esta pluralidad de significados es interpretada por algunos como:

un problema que tiene la tabla periódica, que cuando usted ve la tabla periódica usted ve realmente propiedades de átomos,[...] el potencial de ionización es una propiedad es del átomo, entonces uno llega a confundir lo que es elemento con lo que es átomo. Pero no es lo mismo, y el problema es que el elemento... cuando usted tiene hidrógeno, o digamos un barril con hidrógeno, el símbolo de ese barril, de esa sustancia que hay ahí pura, es el H y el símbolo de las partículas que constituye ese elemento es también H y uno llega a confundir el elemento con el átomo, pero no es lo mismo.” (P10)

Esta misma inquietud, como ya se ha comentado en este trabajo, la ha sentido también la IUPAC (Thibault et al.,1994): “*A menudo no está claramente indicado si un símbolo está dado para un átomo o para un elemento*”.

En este mismo sentido en la definición de elemento en:

http://www.ejercitando.com.ar/teorquim/elem_quim.htm

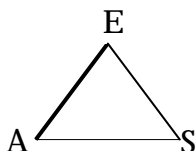
encontramos la siguiente anotación:

“Para representar a los elementos se emplea un conjunto de símbolos químicos que son combinaciones de letras. La primera letra del símbolo químico es siempre mayúscula acompañada por una segunda y hasta una tercera, que son siempre minúsculas.

Los símbolos de algunos elementos provienen de su nombre en latín, por ejemplo, el elemento sodio se simboliza Na (natrium), el hierro, Fe (ferrum), otros están relacionados con una zona geográfica, el galio (Ga) y el germanio (Ge). Uno sólo, el del tungsteno, W, proviene de la palabra en alemán wolfram”.

Efectivamente, como dice P10, el símbolo representa tanto al elemento, al átomo (en cualquiera de sus formas isotópicas) y a la sustancia simple (en cualquiera de sus presentaciones alotrópicas), constituyéndose en una entidad supraordenadora que abarca las partes (átomos) y el todo (sustancia) del elemento.

Por tanto, basándonos en el triángulo que utilizamos para analizar las visiones de elemento de los profesores



podríamos modificar las relaciones entre elemento, átomo y símbolo mostradas en la Figura 1 (simplificada en la Figura 2) tomada de

<http://www.codelco.com/educa/divisiones/norte/estudio/naturales4.html>:

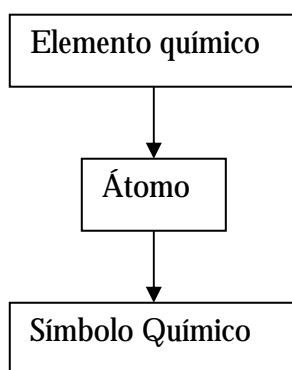


Figura 2

y reorganizarlas de la siguiente manera:

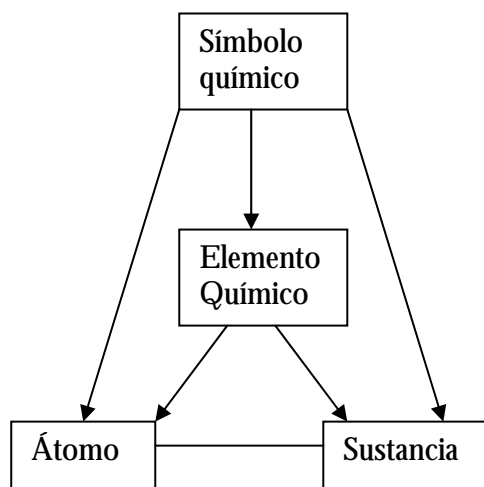


Figura 3

Retomando la pregunta que nos ocupa: ¿Qué hay en la tabla periódica? Objetivamente hablando hay una serie de símbolos ordenados en filas y columnas, que no tienen, aparentemente, ninguna secuencia lógica para quien la mira por primera vez. Para que esa inscripción adquiera significado es preciso aprender a leerla, como dice P8: *“...cómo se lee la tabla periódica, superimportante entender ese tipo de cosas. Qué tipo de información y cómo se puede utilizar esa información a problemas reales...”* (Izquierdo, 2002).

Finalmente, siguiendo a Fernelius (1986) quien afirma que: *“...no hay que olvidarse que para poder optimizar el uso de la tabla, hay que traer unos conocimientos previos”*, P16, a pesar de señalar que no suele utilizar analogías en sus clases, nos compartió una muy adecuada para cerrar esta sección de la discusión:

“El paralelismo que hay entre la tabla periódica para un químico y el árbol genealógico para un historiador. Un historiador mira un árbol genealógico que responde a una determinada época de la historia, pues cuatro o cinco siglos y ve las relaciones de parentesco en una familia. [...] entonces este historiador logra ver sintetizada toda la información de esta época en Europa, o en una parte de Europa o en Sudamérica, cómo explicar las situaciones socioeconómicas, políticas, en base pues a ver cómo estaban relacionadas estas personas. Pero esto no lo dice el árbol genealógico. El árbol genealógico sólo dice quien es padre de quien, con quien se casó tal, cuántos hijos tuvieron, etc. ¿vale? Esto, por una parte. Por otra parte, tampoco nos dice que aparte de ser familiares con una consanguinidad, no dice si estas personas todas tenían el mismo carácter, todas tenían las mismas aficiones, o una rama era muy hábil para los deportes, y la otra, para las artes, ¿eh? Es decir, todo esto no lo dice el árbol genealógico. Pues bien, la tabla periódica nos dice que los elementos están ordenados de acuerdo con el número de protones que hay en el núcleo y que quedan ordenados de manera que su comportamiento químico es similar. Esto

es lo que dice la tabla periódica. Pero ¿qué hacemos los químicos? Sobreponer a esta ordenación los conocimientos que tenemos. De manera, que la tabla periódica tampoco me lo dice que todos los elementos que están a la izquierda son metálicos, tanto más cuánto más abajo estén, y en cambio...esto no me lo dice, pero en cuánto yo lo sepa, yo ya lo incorporo a la tabla periódica. Y puedo llegar a hilar muy detalladamente porque hasta sé que los elementos del primer período no tienen nada que ver con los del segundo, incluso que el hidrógeno no sabríamos ni dónde colocarlo. Que los del segundo período tienen poco que ver con los del tercero. Y que realmente, las propiedades del grupo se manifiestan bien en los elementos más pesados de cada grupo, y llego a poder incorporar muchísima información, y en este sentido yo creo que se puede comparar el químico al historiador mirando el árbol genealógico. Por tanto, cuántos más conocimientos tienes tú, más rendimiento le puedes sacar. Son conocimientos que tú has incorporado a aquella ordenación. Y una ordenación que de per se, no era nada más que esto, una ordenación, una relación de parentesco.

En síntesis:

De acuerdo con lo analizado y discutido en esta sección, podemos concluir que el símbolo que aparece en cada casilla de la tabla periódica, efectivamente, como afirma P10, es una entidad supraordenadora que abstrae en una, dos o tres letras, la representación de toda la información de un elemento. Además, consideramos cada elemento como una “especie” que se refiere a una serie de “individuos” que comparten una característica común, su número atómico, pero que pueden diferir en su número de masa. Este mismo elemento, a la vez, puede presentarse bajo distintas formas físicas palpables, distintas “poblaciones”, los alótropos. De esta manera, es cierto que en cada casilla confluyen las características macroscópicas de las sustancias simples (alótropos) y las microscópicas de los distintos átomos (isótopos) propios de ese elemento, ya que el elemento es el punto de unión entre esos dos cosmos (Bensaude-Vincent, citada por Pacualt, 1994), solamente debemos ser cuidadosos y tomar conciencia de a qué exactamente nos estamos refiriendo en cada caso.

El aspecto relevante que cada profesor destaca de los varios que están directamente relacionados con el elemento químico (figura 4) es lo que origina las visiones encontradas en este trabajo.

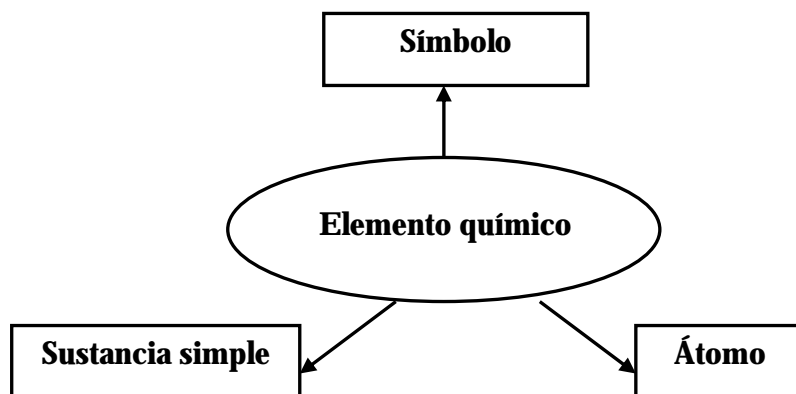


Figura 4

Sección IV: Las analogías y la tabla periódica

1. Las analogías como herramientas didácticas en el proceso de transposición

El último aspecto que analizaremos acerca de lo que los profesores manifestaron sobre la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química es el uso de las analogías como herramientas didácticas en el proceso de transposición del saber sabio al saber enseñado.

El análisis de los sentimientos, opiniones y el tipo de analogía utilizada por los docentes nos condujo en nuestro trabajo anterior (Linares, 2002) a la caracterización de cuatro tipos de docentes que denominamos respectivamente entusiastas, pragmáticos, reflexivos y reticentes. Estos cuatro tipos pueden describirse brevemente así:

1. **Entusiastas:** Aquellos que manifiestan una postura/actitud muy positiva con respecto al uso de las analogías, sin cuestionar la posibilidad de repercusiones negativas de las mismas.
2. **Pragmáticos:** Aquellos que conciben el uso de la analogía de una manera práctica, sin mencionar explícitamente sentimientos positivos con respecto a las analogías, pero beneficiándose de su uso como herramienta didáctica.
3. **Reflexivos:** Aquellos que usan las analogías de una manera más consciente, aprovechando sus ventajas, pero teniendo en cuenta explícitamente los riesgos. Además, consideran que el buen uso de las analogías depende del docente más que

de los temas o el nivel del curso. Son tan conscientes de lo que significa usar bien una analogía que consideran este aspecto como característico de los buenos docentes.

4. **Reticentes:** Aquellos que manifiestan una postura/actitud negativa con respecto al uso de las analogías, valorando más las limitaciones y desventajas de las mismas que los posibles beneficios.

Se encontró, además, una correlación entre los tipos de docentes y las analogías utilizadas.

Como conclusión de esta investigación, en lo referente a los profesores, podemos decir que la diversidad de opiniones respecto al uso de las analogías en las clases de química fue precisamente lo que permitió llegar a una categorización de los docentes y a una tipología de las analogías. En ella resultaron tan importantes los entusiastas, que se emocionan mientras describen detalladamente sus muchas y originales analogías, como quienes de manera pragmática utilizan algunas de modo muy concreto, como los que de forma muy consciente y reflexiva analizan las bondades y desventajas de esta figura retórica a medida que narran las que utilizan más frecuentemente, como quienes definitivamente manifiestan su reticencia a emplearlas. Incluso quien, espontáneamente, suministró ejemplos de la vida cotidiana en lugar de analogías permitió que este trabajo se enriqueciera, originando un punto más de discusión.

El resultado de la investigación sobre el uso de las analogías en los cursos de química en la Universidad del Valle (Linares, 2002) que permitió recoger casi un centenar de analogías, mostró el gran uso que hacen de esta herramienta los profesores y profesoras de química en sus cursos.

Como ya se describió en la metodología, los datos que ahora se tratarán proceden de dos fuentes. La primera, del estudio realizado sobre el uso de las analogías en los cursos del Departamento de Química de la Universidad del Valle (Linares, 2002), y la segunda, de las respuestas a las preguntas seis y siete de la segunda entrevista sobre tabla periódica.

Puesto que los dos grupos analizados no son idénticos, ya que algunos de los profesores que participaron en la investigación del uso de las analogías no enseñan tabla periódica en sus cursos y, de otra parte, algunos de los profesores que tomaron parte de la investigación sobre la enseñanza periódica no participaron en la de las analogías, considero conveniente hacer ciertas acotaciones antes de retomar los datos provenientes de mi tesina.

En primer lugar, la figura 1 muestra los profesores partícipes en ambas oportunidades. En segundo lugar, puesto que la denominación y numeración de los participantes es diferente en las dos investigaciones, y con el fin de no causar confusiones innecesarias, en la información tomada de Linares (2002), reclasificaremos con la misma simbología (P_n) que hemos venido utilizando en esta memoria a los profesores de nuestro interés en la actual investigación. Los demás conservarán su denominación original D_n .

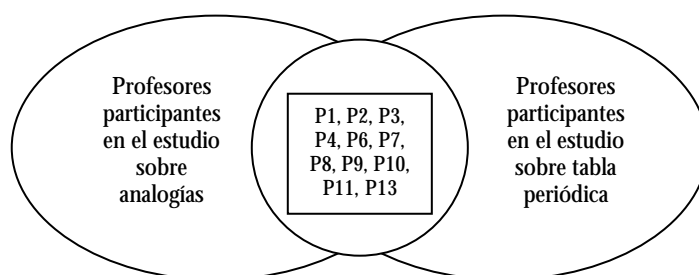


Figura 1

1.1. Analogías recogidas con el cuestionario

El Cuestionario que se les presentó a los profesores constaba, como ya se explicó, de tres partes. En la primera parte se ponían a consideración nueve analogías para que los profesores (hemos mantenido en las tablas sólo los que nos interesan ahora) opinaran acerca de su uso y de su conveniencia o no para explicar el análogo correspondiente. Tres de las analogías propuestas se referían a propiedades periódicas. En el momento de comenzar este análisis me di cuenta que ni los profesores ni yo mencionamos el tamaño atómico como propiedad periódica.

Concepto: carga nuclear efectiva

Analogía	Concepto		Semejanza		¿La ha usado?	¿La usaría?	¿Le parece apropiada?	
Lo que los estudiantes alcanzan a ver de la profesora dependiendo de la fila en que están	Carga nuclear efectiva		Los estudiantes se tapan entre sí como los electrones se apantallan entre sí					
	La ha usado	No la ha usado	La usaría	La usaría con mejoras	No la usaría	Le parece apropiada	La mejoraría	No le parece apropiada
P1	X		X			X		
P2		X			X			X
P3		X						
P4	X					X		
P6		X	X			X		
P7		X			X			X
P8		X	X			X		
P9	X					X		
P10		X			X			X
P11								
P13		X			X			X

Tabla 1 *P11 no devolvió el cuestionario

Concepto: energía de ionización

Analogía	Concepto		Semejanza		¿La ha usado?	¿La usaría?	¿Le parece apropiada?	
Dos niños elevando cada uno una cometa, uno con un hilo muy corto y otro con una cuerda larga	Energía de ionización		Mientras más lejos esté la cometa del niño, más fácil será que se le escape. Mientras mayor sea la distancia del electrón al núcleo, menor energía de ionización					
	La ha usado	No la ha usado	La usaría	La usaría con mejoras	No la usaría	Le parece apropiada	La mejoraría	No le parece apropiada
P1	X		X			X		
P2		X			X			X
P3		X	X			X		
P4		X	X			X		
P6		X	X			X		
P7		X	X			X		
P8		X			X			X
P9	X					X		

P10		X			X			X
P11								
P13		X					X	

Tabla 2 *P11 no devolvió el cuestionario

Concepto: polarizabilidad

Analogía	Concepto		Semejanza		¿La ha usado?	¿La usaría?	¿Le parece apropiada?	
Un aula de chicos que se "distorsiona" cuando pasa una chica linda por el pasillo	Polarizabilidad		La nube electrónica también se distorsiona cuando pasa cerca de una carga positiva					
	La ha usado	No la ha usado	La usaría	La usaría con mejoras	No la usaría	Le parece apropiada	La mejoraría	No le parece apropiada
P1		X	X			X		
P2		X			X			X
P3	X							
P4		X	X			X		
P6		X	X			X		
P7	X		X			X		
P8		X			X	X		
P9	X					X		
P10		X	X			X		
P11								
P13		X	X			X		

Tabla 3 *P11 no devolvió el cuestionario

La segunda parte del cuestionario solicitaba analogías sobre el tema de tabla periódica y propiedades periódicas, de acuerdo con el formato que se presenta a continuación. La tercera parte, que pedía analogías sobre otros temas, no tiene interés en este momento.

Uso de analogías en el tema de la tabla periódica

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?
Ley periódica				
Tabla periódica				
Carga nuclear efectiva				
Energía de ionización				

Afinidad electrónica				
Polarizabilidad				
Electronegatividad				
Grupos de la tabla periódica				
Períodos de la tabla periódica				

Tabla 4

Según Thagard (1992), para que una analogía cumpla de manera eficiente su función didáctica, ha de satisfacer tres condiciones. La primera condición es que debe estar claro el motivo de la escogencia de un determinado análogo para explicar un objetivo en particular. A esto se le denomina la condición pragmática. Pero además de necesitarse una intención explícita para la elección, el análogo y el objetivo deben tener una correspondencia tanto en el significado de los términos usados para describirlos, como en su configuración. La segunda condición es denominada la semejanza semántica. Y la última, la semejanza estructural.

A esta altura del análisis de las analogías habíamos hecho una clasificación de los análogos propuestos por los profesores de acuerdo con la relación análogos/objetivos. Llamamos **análogos múltiples** aquellos que pueden ser utilizados para explicar más de un concepto. Estas analogías presentan distintas condiciones pragmáticas según el interés particular de cada docente. Esto significa que el análogo escogido puede ser interpretado de varias maneras y que las características que se están extrapolando en cada caso son diferentes. Por esta razón, las semejanzas semánticas y estructurales tienen que quedar muy bien detalladas para no dar lugar a confusiones.

Por otra parte, denominamos **análogos equivalentes** a aquellos que son propuestos indistintamente para explicar un mismo concepto. Así, las analogías **equivalentes** comparten la condición pragmática y las semejanzas semánticas y estructurales. Por ejemplo, todas las analogías propuestas para explicar los grupos de la tabla periódica (los equipos de fútbol de una liga, los habitantes de una sección del castillo, un mismo día de la semana en un almanaque, una zona del edificio con un determinado número de balcones,

una tribu) lo que buscan resaltar es que los elementos que los constituyen tienen características similares, aunque cada uno tenga sus particularidades individuales.

Estos dos grupos no son mutuamente excluyentes, ya que un mismo análogo puede ser empleado para explicar más de un concepto y a la vez, de manera alterna con otros análogos para facilitar la comprensión de un determinado objetivo.

Las analogías propuestas por los docentes para cada uno de los conceptos se presentan a continuación utilizando el mismo formato que tenía el cuestionario.

Concepto: ley periódica

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
Ley periódica	Las escalas musicales	Se repiten las notas aunque tengan octavas más altas			
	Las leyes humanas. Todos tenemos iguales derechos y obligaciones. Hay derecho constitucional				
	Para un estudiante los días de la semana se repiten periódicamente según su horario de clases. A cada día le corresponde un determinado número de actividades	Cada día de la semana se repite (como en los grupos)			P1
			Los días de la semana y el mes		P3

Tabla 5

Concepto: tabla periódica

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
Tabla periódica	Un castillo en el cual hay compartimentos diferentes. La nobleza (gases nobles) y el resto	La organización existente en un castillo y la clasificación de los elementos	Los gases nobles ocupan el lugar de la nobleza dependiendo de sus características	Los estudiantes podrían utilizar el castillo y observar su ubicación	
	Como herramienta la comparo con el directorio telefónico o directorio industrial	Encuentro toda la información que necesito, el requisito es saber leer y conocer los números			P1
	Un edificio con apartamentos	Por el orden tanto horizontal como vertical			

Tabla 6

Concepto: carga nuclear efectiva

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
Carga nuclear efectiva	Una "nube" electrónica apantalla al núcleo	Es fácil visualizar una nube cargada negativamente			P2
	Hay un juego entre niños y niñas donde hay igual y diferentes cantidades	Cada niño hace pareja con una niña y si no es así quedan con una característica para emparejar (un átomo neutro tiene igual número de "niños" y "niñas")			
	El efecto de poder alcanzar a alguien cuando otra persona se interpone	Para demostrar que aquella persona a la cual se quiere alcanzar siente menos fuerza de atracción debido a aquella que se interpone			
	Partido de fútbol de once jugadores de un equipo y once de otro	El arquero es el núcleo, los jugadores de campo evitan el acceso del equipo contrario a manera de electrones que interfieren a los otros			
	Un concierto. La música cautiva y atrapa más a los que están más cerca				P9
	Un concierto de una orquesta en un auditorio; los que están más cerca de la orquesta disfrutan más, oyen mejor y se distraen menos	Los estudiantes se tapan entre sí haciendo pantalla y con su conversación se distraen más (electrones que apantallan)			P1

Tabla 7

Concepto: energía de ionización

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
Energía de ionización	Una persona saltando hacia afuera de un pozo	El átomo es un pozo de potencial para el electrón			P2
	Un personaje con un sombrero, sólo con un tirón adecuado se puede tumbar el gorro	Se requiere una energía para que se pierda el gorro			
	Mientras mayor sea el número de obstáculos entre la persona y la que se quiere atraer, menor será la energía de atracción	Si la persona está más lejos de aquella que quiere alcanzarla, será más fácil alejarla de aquella persona que la quiere alcanzar			
	Una rosa	Es más fácil arrancar los pétalos externos de la rosa. De hecho, se caen.			P9
$M_{(g)} + E_{ioniz.} \rightarrow M_{(g)^+} + e^{-}$	Cuando se desea que el hijo "salga" de la casa a buscar un nuevo rumbo y no se quede estancado en la "nada", ese cambio es positivo ($M_{(g)^+}$)	Salió a buscar "fortuna", necesita de una gran energía y le dará un cambio positivo			
	El control que un padre puede tener sobre su hijo pequeño: mientras más lejos esté más fácilmente se le puede perder	El electrón mientras más alejado del núcleo, menor energía de ionización			P1

Tabla 8

Concepto: afinidad electrónica

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
Afinidad electrónica	Una persona cayendo en un pozo	El átomo es un pozo de potencial para el electrón			P2
	Es como la atracción que siente una pareja heterogénea	Es como la atracción que siente el hombre por una mujer			
$M_{(g)} + e^{-} \rightarrow M_{(g)^{-}}$	El hijo vuelve a casa sin haber encontrado "fortuna" ($M_{(g)^{-}}$)	El hecho de no haber desarrollado actividad es un efecto negativo ($M_{(g)^{-}}$)			
	Afinidad que siente una persona por otra para hacer una buena amistad; generalmente hace pocas amistades verdaderas	Atracción de un elemento por uno o más electrones			P1

Tabla 9

Concepto: polarizabilidad

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
polarizabilidad	Una bola de goma que se distorsiona bajo tensión	La goma es análoga a la "nube" de carga			P2
	Dos personas de la manito se mueven a un ritmo pero si alguien los empuja, se tuercen y se puede medir el grado de "torcimiento"	Para que varíe el "torcido" se cambian distancias, radios, proximidades...			
	Grupo de personas en un espacio caliente, se acercan a la ventana cuando ésta se abre				P9
	Un aula de clases en los colegios del sur de Cali, se distorsionará cuando pasa un helicóptero de guerra a 50 metros de altura		Una ambulancia con su sirena, cuando lleva heridos, distorsiona a los carros y la gente que está adelante		P1

Tabla 10

Concepto: electronegatividad

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
electronegatividad	El "pozo" es más profundo cuánto mayor es la electronegatividad	Mientras más profundo el pozo, más ligado se encuentra el electrón			P2
	Si la entrada a cine vale \$8 y se tiene \$7, uno trata de conseguir el \$1 falta en vez de intentar regalar lo que se tiene	Se cumpliría la tendencia de conseguir completar una carga y se genera la tendencia a ganar electrones			
	En un grupo de chicas la más guapa atrae a los hombres (electrones), por tanto tendrá el valor de electronegatividad más alto [idem F(4)]				
	Capacidad de liderazgo de algunas personas, unas tienen gran capacidad para atraer y convencer; otras tienen poco o nulo liderazgo	El de mayor liderazgo atrae con mayor fuerza a las personas (mayor electronegatividad)			P1

Tabla 11

Concepto: grupos de la tabla periódica

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
Grupos de la tabla periódica			Equipos de fútbol de una liga	Cada equipo tiene en común su propio uniforme los cual los distingue unos de otros, aunque los mismos jugadores de cada equipo pueden presentar algunas diferencias como su forma de jugar o su posición dentro del campo	
	Todos los apartamentos del norte tienen un balcón, los del sur dos, etc.	Ordenadamente todos tienen la capacidad de tener un número de balcones aunque aumenten los pisos			
	El comportamiento grupal de una tribu	Para explicar los patrones culturales de un grupo determinado			
	Habitantes de un castillo que dependiendo de su ubicación en el mismo, tienen los mismos derechos y obligaciones. Por ejemplo los gases nobles son los nobles del castillo				
	Los días de la semana para un profesor. Cada día tiene unas actividades específicas	Cada grupo tiene unas características especiales			P1

Tabla 12

Concepto: períodos de la tabla periódica

Concepto	Analogía que utiliza	¿Por qué?	Analogía que cree que podría usar	¿Por qué?	
Períodos de la tabla periódica	Las notas musicales se repiten cada 7 notas y con una octava más alta o más aguda	Se repite periódicamente una característica aunque se tenga mayor energía			
	El comportamiento grupal de una tribu	Para explicar los patrones culturales de un grupo determinado			
Los elementos que poseen el mismo número de niveles	Un edificio de apartamentos, cada nivel o piso posee igual número de apartamentos. Los habitantes del tercer piso todos ellos pertenecen a una misma clase				
	Escalafón en el ejército: generales: responsabilidades y funciones propias del cargo Brigadieres: lo mismo capitanes: lo mismo	En cada rango hay diferentes divisiones			P1

Tabla 13

Todas las analogías propuestas por los profesores (y por mí) fueron analizadas de acuerdo a las tres condiciones citadas por Thagard (1992). Posteriormente también analizamos si se referían a un hecho, a un modelo o a una representación gráfica, como en el caso del formato de la tabla periódica. Finalmente, hicimos una última clasificación según su utilidad para aprender algo nuevo, o simplemente recordar algo ya sabido. Esta última clasificación fue, para mí, la más difícil y, casi con seguridad la más subjetiva, por lo cual puede ser susceptible de modificación. Para facilitar la identificación de cada analogía en las redes que presentaremos más adelante, hemos enumerado cada analogía de acuerdo a la tabla 14.

Analogía	Referencia	Propuesta por
1	Escalas musicales	
2	Leyes humanas	
3	Horario de clases	P1, P3
4	Rompecabezas	P2
5	Edificio	
6	Castillo	
7	Directorio Telefónico	P1
8	Estudiantes de un aula	
9	Concierto	P1,P9

10	Lo que se ve de la profesora	Investigadora
11	Alguien entre otros dos	
12	Partido de fútbol	
13	Juego de niños y niñas	
14	Una nube de electrones	P2
15	La rosa	P9
16	Padre e hijo pequeño	P1
17	Cometa	Investigadora
18	Personaje con un sombrero	
19	Persona saltando de un pozo	P2
20	Obstáculos entre dos	
21	El hijo que se va de casa	
22	Buenas amistades	P1
23	Atracción hombre-mujer	
24	Persona cayendo a un pozo	P2
25	El hijo vuelve a casa	
26	Liderazgo	P1
27	Chica que atrae chicos	
28	Pozo más profundo	P2
29	Valor de la boleta	
30	Persona fuerte y otra débil	
31	Aula de chicos distorsionada	Investigadora
32	Espacio caliente y ventana	P9
33	Dos de la mano y los empujan	
34	Sirena que dispersa los coches	P1
35	Bola de goma	P2
36	Helicóptero de guerra	P1
37	Equipos de fútbol	
38	Apartamentos del edificio	
39	Días de la semana (horario)	P1
40	Comportamiento de una tribu	
41	Habitantes del castillo	
42	Escalas musicales	
43	Pisos(niveles) del edificio	
44	Rangos del ejército	P1
45	Comportamiento de una tribu	

Tabla 14

El análisis completo de las 45 analogías se encuentra en el Anexo 6. A modo de ejemplo de cómo se realizó el análisis paso a paso, miremos la analogía 3, planteada por P1 y P3 para explicar la ley periódica y que considero que también podría utilizarse para explicar la tabla periódica.

Analogía 3

P1 y P3 toman como base la repetición de los días de la semana y del mes para explicar la ley periódica. Esta misma analogía la proponen Goh y Chia, (1989). P1 justifica su escogencia explicando que:

“Para un estudiante los días de la semana se repiten periódicamente según su horario de clases. A cada día le corresponde un determinado número de actividades”.

Y luego añade que: *“Cada día de la semana se repite (como en los grupos).”*

Condición pragmática: En este caso la condición pragmática y la semejanza semántica están estrechamente relacionadas. Para comprender la elección que P1 y P3 han hecho de este análogo hay que conocer de antemano la representación gráfica de la tabla periódica, como un tablero en el que los elementos están dispuestos en filas y columnas, de una forma muy parecida a un calendario. La ley periódica se refiere a la manera en que las propiedades se repiten en esa tabla.

Semejanza semántica: Tal como lo plantean P1 y P3, *“Para un estudiante los días de la semana se repiten periódicamente según su horario de clases. A cada día le corresponde un determinado número de actividades.”* En la tabla periódica, como dice la ley periódica, las propiedades también *se repiten periódicamente*. La aclaración final, *“Cada día de la semana se repite (como en los grupos)”*, corrobora la utilidad de esta misma analogía para explicar tanto la ley como la tabla periódica. Finalmente, la similitud en las formas de la tabla periódica y del almanaque, son otra forma de lenguaje gráfico que sirve de facilitador en la recuperación oportuna del análogo.

Entonces tanto para explicar la ley como la tabla, la correspondencia de análogos y objetivos sería:

Análogo	Objetivo
los días de la semana el mismo día de la semana a lo largo del mes	períodos de la tabla periódica grupos de la tabla periódica

Semejanza estructural: La tabla periódica ordena en filas (periodos) y columnas (grupos) los elementos químicos como un almanaque ordena los días del mes en filas (días de la semana) y columnas (el mismo día de la semana). Los días del mes se repiten periódicamente cada semana y las semanas se repiten a lo largo del mes. De manera similar el comportamiento de los elementos químicos se repite cada vez que se completa un período.

Esta analogía alude tanto al hecho de la periodicidad en sí como a su representación gráfica.

Por otra parte, este análisis detallado de cada analogía nos mostró la variedad de interpretaciones que dan los profesores a los distintos conceptos relacionados con la tabla periódica, empezando por la tabla misma. Por ejemplo, tanto en la entrevista como en la segunda parte del cuestionario se solicitaban analogías sobre “tabla periódica” y, sin embargo, encontramos tres tipos de respuestas diferentes:

La del rompecabezas (analogía 4) y la del directorio telefónico (analogía 7), que aluden principalmente al hecho de que la tabla periódica representa un sistema ordenador. La analogía del grupo de estudiantes (analogía 8) resalta el concepto clasificador de la tabla periódica, es decir, el hecho de agrupar hombres y mujeres en sendos grupos hace referencia a la clasificación de los elementos según sus propiedades características. Por último, las analogías del edificio (analogía 5) y la del castillo (analogía 6), añaden a todo lo anterior la semejanza con la representación gráfica de la tabla periódica. Estas analogías se detallan a continuación:

Analogía 4

P2, se refiere al hecho histórico de cómo Mendeleiev llegó a su ley periódica y a su modelo de la tabla periódica:

“La única analogía, quizás no una analogía sino tal vez un símil, es como un rompecabezas. Entonces yo les digo que lo que tenía Mendeleiev era un rompecabezas de datos empíricos y lo que hizo fue poner

en cada pieza del rompecabezas un elemento químico y armarlo y ahí le quedó bien la tabla, pero no recuerdo ninguna otra analogía.”

No obstante, este símil tomado de un elemento de juego comúnmente conocido, como bien lo denomina P2, puede extenderse a una analogía si extrapolamos las características más sobresalientes del análogo a las del objetivo.

Condición pragmática: P2 explica en sus propias palabras el porqué de la elección de su símil, recordando la historia de cómo Mendeleiev llegó a su tabla periódica.

“Entonces yo les digo que lo que tenía Mendeleiev era un rompecabezas de datos empíricos y lo que hizo fue poner en cada pieza del rompecabezas un elemento químico y armarlo y ahí le quedó bien la tabla.”

Semejanza semántica: Considerando que P2 tiene muy claras y explícitas las razones para escoger su símil, las fichas del rompecabezas, tal como P2 lo detalla, estarán asociadas a cada recuadro que simboliza a cada elemento en la tabla periódica.

Análogo	Objetivo
fichas del rompecabezas armar el rompecabezas	elementos con sus propiedades armar la tabla periódica

Semejanzas estructural: Si consideramos que cada elemento con sus características es similar a cada una de las fichas del rompecabezas, una vez que estas están ordenadas, dan la visión global de la ley de la periodicidad del comportamiento químico.

Analogía 5

“En Tabla Periódica, pues, sí, el del edificio [...] un edificio tiene varios apartamentos ordenados norte, sur, oriente, occidente... entonces cada zona debido a su posición tiene un balcón, dos balcones, tres balcones...que correspondería al número de electrones. Para subir de un piso a otro tengo que tener un número mayor de escalones. Entonces juego con eso para entender el orden que hay entre los grupos y los períodos.” (D6)

En esta analogía presentada por D6 se toma un elemento de la vida cotidiana, un edificio de apartamentos. Las correspondencias del análogo y del objetivo se van señalando cuando D6 va describiendo: “*cada zona debido a su posición tiene un balcón, dos balcones, tres balcones...que*

correspondería al número de electrones". Está claro que el número de balcones equivalen a los electrones que ya sabemos que determinan el grupo. Después D6 continúa: *"Para subir de un piso a otro tengo que tener un número mayor de escalones"* . Ya sabemos que cada período corresponde a un mayor nivel de energía, así que cada piso del edificio corresponde a cada período de la tabla periódica.

De paso se percibe el objetivo afectivo de D6, quien se encuentra entre los entusiastas, cuando afirma: *"Entonces juego con eso para entender el orden que hay entre los grupos y los períodos"*.

Condición pragmática: Nuevamente lo que parece estar presente en esta analogía es la forma de la tabla periódica con los elementos organizados en filas y columnas, como lo están los apartamentos del edificio. Además dependiendo de su posición, sus condiciones son diferentes, tanto en el edificio como en la tabla periódica.

Semejanza semántica: D6 va especificando en su analogía la correspondencia semántica, como cuando habla de cada *zona* del edificio caracterizada por un determinado número de balcones y luego la refiere a un mismo grupo de la tabla, es decir, a una misma *zona*. Igualmente, subir de un piso a otro está asociado a la idea de pasar de un nivel a otro.

Análogo	Objetivo
edificio de apartamentos	tabla periódica
apartamentos de un mismo piso	elementos de un mismo período
apartamentos con el mismo número de balcones	elementos de un mismo grupo

Semejanza estructural: Los apartamentos de un mismo piso están en un mismo nivel, de igual manera, los elementos de un mismo período están llenando un mismo nivel de energía. Los apartamentos de un determinado número de balcones están en una misma zona, los elementos con un mismo número de electrones de valencia están en un mismo grupo.

Analogía 6

Los grupos de la tabla periódica son conocidos también como familias. En este sentido D15 propone su analogía del castillo, creando de una situación ficticia ad-hoc, como dirían Aragón et al. (1998). Esta analogía es menos específica que la anterior, pero también da la idea de que en la tabla hay “sectores” en los que sus componentes tienen ciertas características en común.

“Sí, la analogía que más me ha gustado y que siempre la he usado y que me gusta mucho... en el caso de la tabla periódica es la relacionada con el aspecto de que la tabla periódica es como un gran castillo que está dividido en secciones, ¿cierto? En donde hay un sitio para los gases nobles, o sea, ese sector de los gases nobles es muy especial porque pues allí hay un tipo de familia muy especial dentro del castillo, y... así como en el castillo hay sirvientes, hay guerreros, hay... bueno diferentes tipos de componentes de esta sociedad feudal, así también en el castillo de la tabla periódica también existen diferentes tipos de átomos, de elementos que.. pues tienen una característica en común, algunos, dependiendo de la familia, es decir del sitio en el que está ubicado en el gran castillo.”

Condición pragmática: Como en el caso anterior, lo que dirige esta analogía es el hecho de que en la tabla periódica se distinguen varios bloques, o secciones, como los denomina D15, con distintas maneras de accionar. Así, escoge las secciones del castillo como análogas a las de la tabla periódica, y cada una aloja un tipo de familia.

Semejanza semántica: Las palabras sobresalientes en esta analogía que hacen referencia directa al objetivo, son aquellas que aluden a las *secciones en que están divididos tanto la tabla como el castillo*, y sobre todo, lo que tiene que ver con que en cada sección “*hay un tipo de familia muy especial*”. Además, en el castillo cada grupo social está caracterizado y jerarquizado.

Análogo	Objetivo
castillo	tabla periódica
secciones del castillo	grupos de la tabla periódica
sirvientes, guerreros, nobles	familias de la tabla periódica, por ejemplo, los gases nobles

Semejanza estructural: En el castillo hay diferentes secciones para los distintos tipos de componentes de la sociedad así como en la tabla periódica los elementos están divididos en sectores llamados grupos o familias de acuerdo a sus propiedades semejantes.

Analogía 7

P1, por su parte, propone la tabla periódica como un instrumento, asociándolo con objetos conocidos de la cotidianidad o de otras áreas del conocimiento.

“Lo de la tabla periódica como un directorio telefónico...usted no tiene que memorizar nada, simplemente tiene que saber que es lo que va a buscar, usted encuentra ahí todo. Y para usted buscar en un directorio telefónico, buscar una dirección, buscar una persona, la información que necesite, usted lo que necesita es saber leer no más. En la tabla periódica hay una cantidad de información parecida a la del directorio telefónico, pero debe de saber que clase de información va a buscar en la tabla.”

La analogía continúa reforzando el carácter de instrumento que tiene la tabla periódica.

“Entonces lo importante de la tabla no es memorizarla o verla así como tan lejos de uno. Es un instrumento como para el ingeniero es la calculadora, como para el médico es el bisturí.”

Condición pragmática: En esta oportunidad P1 no se refiere ni a la forma de la tabla periódica, ni siquiera a la ley general que ella condensa, sino al uso práctico que tiene, como si fuera un directorio telefónico. Por eso también la considera como un instrumento similar a una calculadora o a un bisturí.

Semejanza semántica: En este sentido, lo que aparece más destacado en esta analogía es la utilidad que se le puede dar a la tabla periódica por toda la información que ella contiene. Para eso P1 sostiene que *“simplemente tiene que saber que es lo que va a buscar, usted encuentra ahí todo.”*

Análogo	Objetivo
directorio telefónico	tabla periódica
bisturí	tabla periódica
calculadora	tabla periódica

Semejanza estructural: Tanto en el directorio telefónico como en la tabla periódica hay sintetizada una gran cantidad de información, solamente hay que saber buscarla.

La segunda parte de esta analogía tiene típicamente un formato proporcional de la forma A:B::C:D (González, 1997).

la tabla periódica : químico :: bisturí : médico
la tabla periódica : químico :: calculadora : ingeniero

Analogía 8

Por último, D8 toma el salón de clase como análogo de la tabla periódica, y los estudiantes, hombres y mujeres, como análogos de los elementos químicos.

Condición pragmática: Lo que D8 quiere ilustrar es que los elementos que conforman un grupo de la tabla periódica tienen características similares, por eso lo que le interesa del “salón de clase” son los estudiantes –hombres y mujeres- que hay en él, para separarlos de acuerdo con sus características genéricas.

Semejanza semántica: D8 utiliza los términos grupos, filas, períodos durante la descripción de su analogía, que son los mismos que se utilizan al hablar de la tabla periódica de los elementos químicos. Igualmente es muy explícito al hablar de las “propiedades semejantes”.

“...por ejemplo en la tabla periódica. Tal vez hablábamos que se pueden utilizar los estudiantes mismos del salón, formarlos en grupos, o sea en filas, y ahí mismo se les explica lo que son los grupos, lo que son los períodos. Los grupos tienen propiedades semejantes, por ejemplo, colocar a los hombres, las mujeres al otro lado. Bueno, eso se podría utilizar.”

Análogo	Objetivo
salón de clases	tabla periódica
estudiantes de un salón de clase	elementos de la tabla periódica
grupo de hombres o mujeres	grupos de la tabla periódica con características similares

Semejanza estructural: Los elementos de un mismo grupo de la tabla periódica tienen propiedades semejantes aunque cada uno tiene sus características propias. En el grupo de las mujeres, por ejemplo, todas tienen en común el género, aunque no sean exactamente iguales las unas a las otras. Con el grupo de los chicos sucedería lo propio.

Esta misma situación la encontramos, en general, para las analogías suministradas para explicar todas las propiedades periódicas, como se encuentra detallado en el anexo 6.

Como se explicó en el marco teórico y se comentó en la metodología, muchas de las analogías que los profesores nos compartieron tienen estructura de símil. Es decir, las propiedades del análogo no están expresamente extrapoladas al objetivo. Esta situación, como también ya se mencionó, pudo deberse a la familiaridad entre los entrevistados y yo. No obstante, dentro del rigor de este trabajo y para no caer en el error de falsas suposiciones, tales analogías las hemos denominado “incompletas”. De otro lado, clasificamos como “tridimensionales” las analogías que cumplen con los tres requisitos planteados por Thagard. Bidimensionales son aquellas que sólo cumplen con dos. Han sido llamadas inapropiadas o inválidas las que no cumplen con tales condiciones.

La red 1 muestra un panorama general de los temas aludidos por los profesores en el conjunto total de analogías recogidas durante la investigación realizada en 2002 con los profesores del Departamento de Química de la Universidad del Valle. La red 2 muestra el número de analogías reunidas para cada uno de los temas específicos relacionados con la tabla periódica y las propiedades periódicas.

Las redes 3, y 4 muestran el resultado del análisis total de las 45 analogías (identificadas de acuerdo con la tabla 14) resumidas en la red 2.

Estructura atómica y molecular	Modelo atómico			
	<table border="1"> <tr> <td>Propiedades atómicas</td> <td> Carga nuclear efectiva Energía de ionización Afinidad electrónica Electronegatividad Polarizabilidad </td> </tr> <tr> <td>Enlace</td> <td> Atracción Estabilidad Compartir Fortaleza </td> </tr> </table>	Propiedades atómicas	Carga nuclear efectiva Energía de ionización Afinidad electrónica Electronegatividad Polarizabilidad	Enlace
Propiedades atómicas	Carga nuclear efectiva Energía de ionización Afinidad electrónica Electronegatividad Polarizabilidad			
Enlace	Atracción Estabilidad Compartir Fortaleza			
Tabla periódica	Orgánica y bioquímica			
	<table border="1"> <tr> <td>Ley periódica</td> </tr> <tr> <td>Tabla periódica</td> </tr> <tr> <td>Grupos de la tabla periódica</td> </tr> <tr> <td>Períodos de la tabla periódica</td> </tr> </table>	Ley periódica	Tabla periódica	Grupos de la tabla periódica
Ley periódica				
Tabla periódica				
Grupos de la tabla periódica				
Períodos de la tabla periódica				
Estequiometría				
Termodinámica				
Cinética química				
Analítica y análisis instrumental				

Red 1.

Tabla Periódica	Ley periódica	Periodicidad (1) Ley (1) Ley y representación gráfica (1)
	Tabla periódica	Sistema ordenador (2) Sistema clasificador (1) Representación gráfica (2)
	Grupos de la tabla periódica	Semejanzas en las propiedades de un grupo (2) Semejanzas en las propiedades y representación gráfica (3)
	Periodos de la tabla periódica	Periodicidad d las propiedades (1) Relación de los periodos con los niveles de energía (1)
Propiedades periódicas	Carga nuclear efectiva	Carga nuclear efectiva (2) Apantallamiento (3)
	Energía de ionización	Energía para arrancar un electrón (1) Representación gráfica de la energía (1) Se pierden los electrones más externos (1) Dependencia de la distancia del electrón al núcleo (2) Dependencia del apantallamiento (1) Representación formal (1)
	Afinidad electrónica	Atracción de un átomo por un electrón (1) Un átomo puede ganar varios electrones (1) Representación gráfica de la energía (1)
	Electronegatividad	Capacidad para atraer electrones (2) Representación gráfica de la energía (2)
	Polarizabilidad	Capacidad de una nube electrónica para deformarse (2) Distorsión de la nube electrónica por una carga positiva (2) Repulsión por una carga negativa u otra nube electrónica (2)

Red 2.

T
A
B
L
A

P
É
R
I
O
D
I
C
A

Completas	Tridimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (5,8,41,42) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (4,5,6,7,39,41,42,43) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (4,5,6,39,41,42,43) Comprender (ninguna)
		Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
	Bidimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
		Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
Inapropiadas	(ninguna)			
Inválidas	(ninguna)			

Red 3

T
A
B
L
A

P
É
R
I
O
D
I
C
A

Incompletas	Tridimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (1,3,40) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (3,37,38) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (3,38) Comprender (ninguna)
		Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
	Bidimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (2) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (44) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (44) Comprender (ninguna)
		Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
Inapropiadas	(45)			
Inválidas	(ninguna)			

Red 3 continuación

P R O P I E D A D E S P É R I Ó D I C A S	Completas	Tridimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (22) Comprender (ninguna)
				Modelo	Recordar (14,26,28,31,35) Comprender (9,10,12,16,17,19,24)
				Representación gráfica	Recordar (18,28) Comprender (24)
			Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
		Bidimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
Inapropiadas	(13)				
Inválidas	(ninguna)				

Red 4

P R O P I E D A D E S P É R I Ó D I C A S	Incompletas	Tridimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (18,23) Comprender (15)
				Modelo	Recordar (11,20,33,34,36) Comprender (ninguna)
				Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
		Bidimensionales	Concepto	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
			Procedimiento	Hecho	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Modelo	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
				Representación gráfica	Recordar (ninguna) Comprender (ninguna)
		Inapropiadas	(ninguna)		
Inválidas	(ninguna)				

Red 4. Continuación

1.2. Analogías recogidas en la segunda entrevista

Los datos recogidos en la segunda entrevista se referían a dos relaciones diferentes de las analogías con la tabla periódica. Por una parte se pregunta cuáles analogías consideraban los profesores que estaban representadas en la tabla periódica. Por otra, se les solicitaba nuevas analogías utilizadas por ellos para explicar la tabla periódica y los temas relacionados con ella.

“Las series de desintegración proveen la muestra más importante del proceso real de producción de los elementos, unos a partir de otros, de lo cual la ley periódica es, como ya lo era, la consecuencia. Así como en una foto de una cascada uno puede inferir el movimiento del agua, de la ley periódica se puede sospechar la continua transformación de los aparentemente incambiables elementos...”

Soddy citado por Anders, 1964

1.2.1. Analogías que hay en la tabla periódica

Con respecto a las analogías que consideran que están encerradas en la tabla periódica los profesores manifestaron que:

En resumen:

- Las analogías que están aquí inmersas son muchas. P11
- Todas las propiedades periódicas están allí como analogías. P10, P11
- Los nombres sí son adjudicados por analogía con otras cosas. P7, P8, P10
- El sitio donde se descubrieron, el nombre de alguna persona que fue la que hizo el descubrimiento. P6, P7, P8

Para algunos temas en particular los profesores, las analogías propuestas fueron las siguientes:

La tabla:

- Un rompecabezas (puzzle). P2, P16

Los grupos:

- Todos los elementos de un grupo tienen analogías por propiedades. P10

- Ven uno principal, y los bautizan porque todos son parecidos. Hay una generalidad en ellos, quizás hay una analogía. P13
- Así como una familia tiene el mismo apellido, entonces aquí tienen la misma configuración electrónica de valencia. P1
- Los miembros de una misma familia están juntos. P10
- Los gases nobles, como estos gases no hacen nada, y los nobles no se caracterizan justamente por ser personas muy activas. P2, P9
- Los halógenos o los alcalinos. P13

Para algunos elementos en particular:

- El tungsteno también le llaman el metal de los infiernos, por su alto punto de fusión. P10
- El tántalo, el tantalio, porque creo que la reactividad es muy poca... entonces no se sacia con nada.. P7, P10
- El helio. Por semejanza con el sol, porque fue descubierto primero en el sol y luego en la tierra. P10
- El cromo, que quiere decir que ese elemento forma muchos compuestos con colores. P8

Los profesores P3, P4, P12, P14, P15 manifestaron que no encuentran analogías en la tabla periódica. La tabla 15 condensa las respuestas de los profesores a la sexta pregunta de la segunda entrevista.

Analogías en la tabla periódica	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Muchas										x					
Propiedades periódicas									x	x					
Los nombres de los elementos						x	x		x						
Por el descubrimiento: sitio, grupo, descubridor					x	x	x								
La tabla como un puzzle (Mendeleiev)		x													x
Los grupos como familias	x								x						
Analogías en las propiedades de un grupo									x			x			

Ejemplos de grupos		x						x				x			
Ejemplos de elementos						x	x		x						
No encuentran analogías			x	x								x		x	x

Tabla 15

Comentarios adicionales:

- La intención misma de la tabla periódica, de la clasificación de elementos en la tabla periódica es de hacer similaridades, mas no analogías. P7
- Específicamente ese fue el fin de la tabla periódica sacar las analogías por propiedades. P10
- La tabla periódica ha sido construida en base en analogías. P8

1.2.2. Analogías para explicar tabla periódica o propiedades periódicas

De manera similar se sintetizaron las respuestas dadas por los docentes en cuanto a las analogías que utilizan en el tema de tabla periódica. Algunos de ellos volvieron a repetir las que habían referido el año anterior durante la entrevista sobre el uso de las analogías.

En resumen:

- Para explicar la periodicidad, si enrollamos la tabla periódica, la podemos analogar a una hélice. P2
- El grupo de estudiantes, cuales son más tranquilos, a cuales les gusta más participar en todas las actividades, entonces ubíquense aquí, los que no, ubíquense acá, también por tamaño. P9
- La del salón de clases es la que yo les hago para ubicarlos en los grupos y para hablarles del concepto de probabilidad y de carga nuclear efectiva. P4, P11
- Lo dejó pendiente: P1, P3, P7
- Muy pocas: P13
- No recuerda más: P8, P10, P12
- No le gusta usarlas: P6, P14, P15, P16

La tabla 16 condensa las respuestas de los profesores a la séptima pregunta de la segunda entrevista.

Nuevas analogías para explicar la tabla periódica	P1	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Periodicidad: tabla enrollada		X													
Salón de clases: grupos, periodos, carga nuclear efectiva				X						X					
Estudiantes como elementos								X							
Lo dejó pendiente	X		X			X									
Muy pocas												X			
No recuerda							X		X		X				
No le gusta usarlas													X	X	X

Tabla 16

En realidad, el grueso de analogías referentes a tabla periódica y propiedades periódicas ya fueron analizadas en Linares (2002).

En algunos otros momentos de la segunda entrevista surgieron espontáneamente algunas analogías, como por ejemplo, cuando P2 definió el átomo:

“...yo diría que un átomo está caracterizado por un núcleo, que a su vez está caracterizado por su número atómico, que es su número de protones, y un enjambre de electrones, que están organizados alrededor de ese núcleo central formando una estructura estable.”

Esta misma analogía fue propuesta por P11 en la investigación anterior.

También refiriéndose al átomo, tanto P9 como P16 utilizaron la analogía de Basso (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997) de la comparación con un ladrillo.

“...es como el ladrillito que construye la materia.” (P9)

“... ahora quizás te diga una analogía, son los ladrillos con los que está construida la materia.” (P16)

De otro lado, P11 propuso una analogía para explicar la probabilidad de encontrar un electrón en una cierta región del espacio, comparándolo con la ubicación de un estudiante

en un salón de clases en la universidad. Esta misma analogía la encontramos en la revisión del JCE en Goh et al.(1994).

En síntesis:

Lo que este apartado de nuestra investigación puso en evidencia es que los profesores utilizan muchas más analogías que lo que recuerdan, ya que una lectura minuciosa de las entrevistas permite constatar que algunos de los más reticentes al uso de las analogías, las utilizan frecuentemente durante todo su discurso. Tal es el caso de P16, quien, al hablar de la tabla periódica decía:

“...es el eje central de la Química...”

“Es la máxima posibilidad que tiene un químico de sistematizar sus conocimientos. Es como tener la llave de un edificio muy complejo...”

y además utilizó la analogía del árbol genealógico, que ya describimos. Y la del ladrillo para el átomo. Y la del estadio de fútbol al hablar de los caminos de acceso a la enseñanza de la tabla periódica.

“Para describir un estadio de fútbol ¿necesitas primero describir el edificio y después, el contenido? O sea, primero vamos a decir la fachada del edificio y luego el contenido. Yo creo que se puede explicar de las dos maneras, y de las dos perfectamente correcto y de las dos perfectamente entendibles... puedes empezar explicando configuraciones electrónicas, por tanto, estructura atómica, o puedes empezar hablando con tabla periódica.”

Por otra parte, como ya habíamos detectado en la investigación de las analogías, la gran mayoría se refiere a los modelos y no a los fenómenos o los hechos en sí. En otros casos, tampoco están relacionadas directamente con la propiedad que se pide explicar, sino con algún otro fenómeno relativo a ella. Como el ejemplo de los pétalos de la rosa. Es cierto que los electrones más externos necesitan una menor energía para ser arrancados, pero esa analogía no corresponde al objetivo “energía de ionización”.

Finalmente, los profesores de la Universidad Autónoma de Barcelona se mostraron reticentes al uso de las analogías en sus clases, aunque suelen utilizarlas en su discurso cotidiano. Por el contrario, los profesores de la Universidad del Valle suelen valerse de esta herramienta con mucha frecuencia.

Considero interesante comentar que al realizar la segunda entrevista, un año después de la investigación sobre el uso de las analogías, muchos profesores me comentaron sobre sus reflexiones acerca de ellas. Algunos de los tipificados la primera vez como reticentes las han ido incorporando poco a poco a sus clases, y los que ya lo hacían, ahora lo hacen de una manera más reflexiva.

Esta retroalimentación por parte de mis compañeros ha sido un factor de motivación para continuar adelantando este tipo de investigaciones en el Departamento de Química en el que trabajo.