



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Facultat de Ciències de l'Educació

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

Grup LIEC (Llenguatge i ensenyament de les ciències)

La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química. Clasificar o aprender

TESIS DOCTORAL

Autor: Carlos Guillermo Agudelo Carvajal

Directora: Mercè Izquierdo Aymerich

Bellaterra, diciembre de 2015

La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química. Clasificar o aprender

Trabajo de investigación realizado por
Carlos Guillermo Agudelo Carvajal

Para optar al título de Doctor correspondiente a los estudios de Doctorado en
Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales del
Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals
de la Universitat Autònoma de Barcelona

Grup LIEC (Llenguatge i ensenyament de les ciències)
Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals
Facultat d'Educació
Universitat Autònoma de Barcelona

Diciembre de 2015



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Facultat de Ciències de l'Educació

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

Grup LIEC (Llenguatge i ensenyament de les ciències)

La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química. Clasificar o aprender

Autor: Carlos Guillermo Agudelo Carvajal

Directora: Mercè Izquierdo Aymerich

Bellaterra, diciembre de 2015

A María Camila,
porque el amor es más fuerte

Agradecimientos

Desde que tuve mis primeras clases “de tercer ciclo” en la Universitat de València hasta el día que deposito esta memoria en la UAB, he vivido una parte muy importante de mi vida, cualitativa y cuantitativamente hablando (¡15 años!). Por diversos motivos la dedicación académica ha sido intermitente, pero lo que sí ha sido constante en cada año que ha pasado es la acumulación de personas con las cuales estoy agradecido ¡afortunadamente! Y yo ahora me dispongo a cometer una injusticia con todas las personas que no mencionaré. Me disculpo de antemano con la esperanza de poder agradecer personalmente a todos mis profesores, alumnos, amigos, familiares, etc., que de alguna manera han aportado a estas páginas, directa o indirectamente, y cuyo nombre no está mencionado aquí.

Quiero agradecer muy especialmente a Mercè por haberme mostrado siempre su confianza, por haberme acompañado durante todo este proceso y por haberme apoyado de manera incondicional, tanto en los momentos durante los cuales tuve que “guardar la tesis en la nevera” como en los momentos de volverla a “poner en la retorta”. Estoy muy agradecido también por todo lo que aprendí a su lado en las conversaciones químico-filosóficas y por brindarme la oportunidad de disfrutar de su generosidad intelectual y de su optimismo lúcido ante la enseñanza de la química que siempre me ha cautivado, tanto en las conversaciones como en la lectura de sus textos.

Agradezco a todos los profesores que me han ido contagiando el cariño hacia esta “joven disciplina”. Especialmente agradezco a Daniel Gil, Carles Furió y Valentín Gavidia, de la Universitat de València con quienes tuve mis primeras clases y que me enseñaron eso de “salir al paso de visiones simplistas...”, con préstamo de bicicleta incluido que me hizo Daniel y con la cual conocí todos los “intrínquilis” del carril bici valenciano. Y a Amparo Saurat por su permanente disposición a ayudarme, siempre con una sonrisa.

Aquí en la Autónoma agradezco a todos los profesores del departamento, especialmente a Conxita Márquez y a Anna Marbà que siempre estuvieron dispuestas a ayudarme y me dieron ánimos, sobretodo en estos últimos días de “corre-corre”. Y a Mariona Espinet por su permanente apoyo y por el primer abrazo que recibí de post-primera-versión-del-documento. Muchas gracias también a Benjamín Daza por su ayuda y a todo el personal administrativo y de conserjería, especialmente a Sonia y a Carme.

También quiero expresar mis agradecimientos especiales a Marta Segura, a Josep Maria Valls y a Xavier Muñoz de l'Escola Pia, así como a Fina Guitart y a todos los profesores que colaboraron con la recogida de datos de esta investigación. Y al otro lado del Atlántico, también agradezco a Francisco Ruiz y al grupo de profesores que contactó con el propósito de ayudarme con la recogida de datos.

La lista de amigos que me acompañaron durante todo este tiempo es inmensa, tanto la de amigos viejos (de toda la vida, quiero decir) como de los amigos nuevos y compañeros de este camino académico. Quiero agradecer muy especialmente la ayuda indispensable y oportuna de Marta, Caro, Ainoa y Natasha, porque han estado muy presentes en este trabajo de una manera u otra.

También quiero agradecer a Bea por su compañía y complicidad en las largas jornadas de trabajo en el Campus ITACA, y a todos los amigos con los que compartí "saleta", encuentros de estudiantes, congresos, visitas turísticas y fiestas de cumpleaños. Horacio, Mauri, Pancho, Felipe, Miguel, Johanna, Laísa, Carla, Luciano, Patricia, José Omar, Germán, Tere, Marisa, Laura, Manuel, Isabel, Glinda, Víctor. Muchas gracias también a mis amigos de Colombia, algunos de los cuales tengo más cerca que a otros: Julián, Maria, Toya, Rose, Javi, Fernando, Dani, Cris, Camilo, Cata, Coqui, Any, Burgos, Carlitos, Andrea, Isa, Alejo, Armando, Simón, Daniel, Jaime, Juanjo, Claudia, Margarita, Lina, Jordi. Y a los nuevos amigos de este lado del Atlántico, Agnès, David, Ivet, Pietro, Marta, Víctor, Litus, Pati, Maria, Alba, Xavi.

Nada de esto hubiera sido posible sin el apoyo de mi familia nucle... molar, tanto la sección colombiana como la sección catalana. Gracias a mis papás y a mi hija María Camila, que están lejos-pero-cerquita, con su presencia permanente. Muchas gracias mi hermanita, que afortunadamente la tengo cerca. Moltes gràcies també per tot el recolzament constant i l'ajuda logística de la Calala, el Màrius, el Guille, la Montse el Juanmi i l'Adri. Finalment, vull agrair de cos i ànima a l'Anna pel seu suport emocional i logístic, pel seu amor, paciència i comprensió. Val a dir que ella té més mèrit que jo en aquesta tesi, perquè els dos vam aprendre una miqueta de química i ella, a més, va fer doctorat en edició.

Resumen

Esta investigación tiene el propósito general de estudiar la función de la tabla periódica en la enseñanza de la química. Pretende identificar hasta qué punto la enseñanza de la tabla periódica contribuye a perpetuar la idea de que los átomos son el objetivo de estudio de la química, más que una herramienta para pensar los cambios químicos e intervenirlos de manera racional y razonable. La investigación se centra especialmente en la educación escolar preuniversitaria, en el contexto de la actividad científica escolar, concretada en la química escolar, que es el marco teórico didáctico dentro del cual se abordan las preguntas de investigación.

Para alcanzar este propósito, se han definido tres focos de análisis y en relación con cada uno se ha formulado una pregunta de investigación y diversos objetivos para responderla. Los tres focos de análisis son: a) los artículos sobre la tabla periódica publicados durante los últimos 15 años en una muestra de revistas de impacto de didáctica de las ciencias y de didáctica de la química, b) una muestra de libros de texto de química de ESO y bachillerato, y c) las respuestas a una encuesta suministrada a un grupo de profesores de los mismos niveles escolares.

Respecto a la muestra de artículos, se pregunta cuáles son los núcleos conceptuales con mayor presencia y cuál es la función docente que otorgan a la tabla periódica. Respecto a la muestra de libros de texto, se pregunta en qué grado los núcleos conceptuales identificados en los artículos están presentes en el “relato” de estos libros y qué función otorga este relato a la tabla periódica. Finalmente, en relación a las respuestas de los profesores, se pregunta en qué grado sus respuestas incluyen los núcleos conceptuales identificados en los artículos y qué función se otorga a la tabla periódica, teniendo en cuenta la secuenciación de temas que los profesores proponen para introducirla en el aula.

Para responder la primera pregunta, dirigida a la muestra de revistas acotada, se procede a la reseña, clasificación y análisis de los artículos seleccionados mediante categorías emergentes. Los núcleos conceptuales que emergen son: a) el concepto de elemento químico, b) la cuestión del formato de la tabla periódica como problema, c) la explicación de la periodicidad, d) el desarrollo histórico del sistema periódico y e) las características generales de diversos elementos químicos. Mediante el análisis de contenido de los artículos a partir de estos núcleos conceptuales identificamos las siguientes funciones: *la función de modelización, la función clasificadora, la función heurística simbólica y la función heurística electrostática.*

Para responder la segunda pregunta, dirigida a los libros de texto, se ha diseñado una plantilla de análisis y un instrumento de interpretación bidimensional (epistemológico-ontológico) basados en los núcleos conceptuales presentes en los artículos. El resultado muestra que el concepto de elemento químico aparece centrado en el carácter atómico; la cuestión del formato como problema es inexistente; la periodicidad aparece de una manera más descriptiva que explicativa; y el desarrollo histórico se presenta mediante una retórica de lógica positivista y un “relato” común que presenta variaciones en función de la visión de elemento. A partir del análisis e interpretación de estos núcleos conceptuales identificamos las siguientes funciones en los libros de texto: *la función clasificadora y la función heurística macro-micro.*

Para responder la tercera pregunta se ha diseñado, a partir de los núcleos conceptuales presentes en los artículos, una encuesta dirigida a un grupo de profesores y un instrumento para interpretar las respuestas. El concepto de elemento químico aparece difuso; se tiene en cuenta la diversidad de formatos aunque no como un problema; y el desarrollo histórico se centra en la capacidad predictiva, ordenadora y explicativa como características importantes para la aceptación de la tabla periódica por parte de la comunidad científica. A partir del análisis e interpretación de los núcleos conceptuales identificamos las siguientes funciones: *la función clasificadora y la función explicativa.*

De los resultados del análisis se desprende que la función clasificadora, junto con los “relatos” más habituales en la enseñanza de la tabla periódica, contribuyen a perpetuar la idea del átomo como objeto de estudio de la química. Se tiende a descartar el uso del mol y del átomo químico en el nivel ‘meso’ como herramientas de pensamiento, que pueden ser útiles a los alumnos para explicar e intervenir en los cambios químicos. Estos cambios son, finalmente, el principal objeto de estudio de la química.

Resum

L'objectiu general d'aquesta recerca és l'estudi de la funció de la taula periòdica en l'ensenyament de la química. L'estudi pretén identificar fins a quin punt l'ensenyament de la taula periòdica contribueix a perpetuar la idea que els àtoms són l'objectiu d'estudi de la química i no una eina per pensar en els canvis químics i incidir-hi de manera racional i raonable. La recerca es porta a terme sobretot en el marc de l'ensenyament pre-universitari, en el context de l'activitat científica escolar, més concretament de la química escolar, que és el marc teòric-didàctic en el qual es formulen les preguntes de la recerca.

Per arribar a l'objectiu s'han definit tres focus d'anàlisi, i en relació a cadascun s'ha formulat una pregunta d'investigació i diversos objectius per respondre-la. Els tres focus d'anàlisi són: a) els articles sobre la taula periòdica publicats durant els últims 15 anys en una mostra de revistes d'impacte de didàctica de les ciències i de didàctica de la química, b) una mostra de llibres de text de química d'ESO i batxillerat, i c) les respostes d'una enquesta lliurada a un grup de professors d'aquests mateixos nivells escolars.

Pel que fa a la mostra d'articles, es pregunta quins són els nuclis conceptuals amb més presència i quina és la funció docent que donen a la taula periòdica. Respecte a la mostra de llibres de text es pregunta en quin grau els nuclis conceptuals identificats en els articles estan presents en el relat d'aquests llibres i quina funció atorga aquest relat a la taula periòdica. Finalment, quant a les respostes del professors, es demana en quin grau les seves respostes inclouen els nuclis conceptuals identificats en els articles i quina funció es dona a la taula periòdica, tenint en compte la seqüenciació de temes que els professors proposen per introduir aquesta taula a l'aula.

Per respondre la primera pregunta, dirigida a la mostra acotada de revistes, es procedeix a la ressenya, classificació i anàlisi dels articles seleccionats mitjançant categories emergents. Els nuclis conceptuals que emergeixen són: a) el concepte d'element químic, b) el format de la taula periòdica com a problema, c) l'explicació de la periodicitat, d) el desenvolupament històric del sistema periòdic i e) les característiques generals de diversos elements químics. Mitjançant l'anàlisi de contingut dels articles a partir d'aquests nuclis conceptuals identifiquem les funcions següents: *la funció de modelització, la funció classificadora, la funció heurística simbòlica i la funció heurística electrostàtica.*

Per respondre la segona pregunta, sobre els llibres de text, s'ha dissenyat una plantilla d'anàlisi i un instrument d'interpretació bidimensional (epistemològic-ontològic) basats en els nuclis conceptuals presents als articles. El resultat mostra que el concepte d'element químic apareix centrat en el caràcter atòmic; que el tema del format com a problema és inexistent; que la periodicitat hi apareix d'una forma més descriptiva que explicativa; i que el desenvolupament històric es presenta mitjançant una retòrica de lògica positivista i un "relat" comú que presenta variacions en funció de la visió dels elements. A partir de l'anàlisi i la interpretació d'aquests nuclis conceptuals, identifiquem les següents funcions en els llibres de text: *la funció classificadora i la funció heurística macro-micro.*

Per respondre la tercera pregunta s'ha dissenyat, a partir dels nuclis conceptuals presents als articles, una enquesta dirigida a un grup de professors i un instrument per interpretar-ne les respostes. El concepte d'element químic hi apareix de forma difusa; es té en compte la diversitat de formats, però no com a problema; i el desenvolupament històric es centra en la capacitat predictiva, ordenadora i explicativa com a característiques importants per l'acceptació de la taula periòdica per part de la comunitat científica. A partir de l'anàlisi i la interpretació dels nuclis conceptuals identifiquem les següents funcions: *la funció classificadora i la funció explicativa.*

Dels resultats de l'anàlisi es desprèn que la funció classificadora, juntament amb els "relats" més habituals en l'ensenyament de la taula periòdica, contribueixen a perpetuar la idea de l'àtom com objecte d'estudi de la química. Es tendeix a descartar l'ús del mol i de l'àtom químic en el nivell "meso" com a eines de pensament, que poden ser útils als alumnes per explicar i intervenir en els canvis químics. Aquests canvis són, finalment, el principal objecte d'estudi de la química.

Abstract

The main purpose of this research is to study the function of the periodic table in chemistry teaching. It aims to identify to what extent the teaching of the periodic table helps perpetuating the idea that atoms are the goal of studying chemistry, rather than a tool for thinking about chemical changes and acting on them both rationally and reasonably. The research specially focuses on high school scientific activity and in particular in school chemistry, which is the educational theoretical framework from which the research questions are addressed.

To achieve this goal, three focal points of analysis are defined as well as one research question for each, and different objectives that allow answering them. The three focal points are: a) the articles on the periodic table published during the last 15 years in a sample of impact journals of science education and chemistry teaching, b) a sample of high school chemistry textbooks, and c) responses to an inquiry answered by a group of high school teachers.

For the sample of articles the research question refers to the identification of the most frequent core concepts that appear in the articles and the teaching function that is given to the periodic table.

For the sample of textbooks the research question refers to what extent the core concepts identified in the articles are present in the narrative of these books, and the teaching function given to the periodic table in them.

Finally, regarding the teachers' responses, the research question refers to what extent their answers include the core concepts identified in the articles and the teaching function given to the periodic table by them, considering the sequencing of topics that teachers propose to introduce it in their classes.

To answer the first question, regarding the sample of journals, a review, classification and analysis of selected articles is done by emerging categories. The most frequent core concepts are: a) the concept of chemical element, b) the issue of the format of the periodic table, c) the explanation of the periodicity, d) the historical development of the periodic system, and e) the general characteristics of different chemical elements. The functions of the periodic table are identified through the content analysis of the articles and it is based on the core concepts. The identified functions of the periodic table in the articles are: the modelling function, the classifying function, the symbolic heuristic function and the electrostatic heuristic function.

To answer the second question, regarding the sample of textbooks, a template and a bi-dimensional interpreting tool (epistemological-ontological) based on the core concepts are designed. The main results show that the concept of chemical element focuses on the atomic nature; the issue of the format is non-existent; the periodicity appears in a more descriptive than explanatory way; and the historical development is presented by a logical-positivist rhetoric and a common narrative that has variations depending on the view of the element. Based on the analysis and interpretation of the core concepts the following functions of the periodic table are identified in the textbooks: the classifying function and the macro-micro heuristic function.

To answer the third question, it has been designed a directed inquiry for a group of teachers and a tool to interpret their responses, both based on the core concepts identified in the articles. The concept of chemical element appears to be diffuse, the issue of the format is considered important for the teachers but not problematic; and the historical development focuses on the predictive, explanatory and ordering power of the periodic table as important features for its acceptance by the scientific community. Based on the analysis and interpretation of the core concepts the following functions of the periodic table are identified in the teachers' responses: the classifying function and the explanatory function.

The most highlighted outcomes show that the classifying function along with the most usual narratives in the teaching of the periodic table help perpetuating the idea of the atom as a chemistry object of study. It is not mostly considered the use of the mole and the chemical atom in the 'meso' level as thinking tools that could be helpful for students in explaining and intervening on chemical changes. These changes are finally the main chemistry object of study.

Índice de contenidos

INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1 OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	21
1.1.1 Núcleos conceptuales y función de la tabla periódica en la investigación didáctica. Primera pregunta de investigación	23
1.1.2 La función de la tabla periódica en los libros de texto. Segunda pregunta de investigación	24
1.1.3 La función de la tabla periódica en la práctica docente. Tercera pregunta de investigación	26
1.2 ORGANIZACIÓN GENERAL DE LA MEMORIA	28
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	31
2.1 ACTIVIDAD CIENTÍFICA ESCOLAR (ACE): HABLAR, PENSAR Y ACTUAR.	32
2.2 LA QUÍMICA ESCOLAR	35
2.3 LA TABLA PERIÓDICA DE MASAS Y LA TABLA PERIÓDICA DE NÚMEROS ATÓMICOS	38
2.3.1 El “elemento” de Mendeleiev y la TP de masas	40
2.3.2 La TP de números atómicos	44
2.4 LOS LIBROS DE TEXTO, SU CARÁCTER RETÓRICO Y SU DIMENSIÓN NARRATIVA	49
2.4.1 Carácter retórico de los libros de texto	51
2.4.2 La dimensión narrativa de los libros de texto	53
CAPÍTULO 3 LA INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN DIDÁCTICA EN RELACIÓN A LA TABLA PERIÓDICA EN ARTÍCULOS ESPECIALIZADOS. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES	57
3.1 OBJETIVOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	57
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Y MÉTODO DE ANÁLISIS	58
3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS	61
3.3.1 Artículos teóricos	61
3.3.2 Artículos con propuestas	93
3.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE LAS ENCUESTAS Y LAS PLANTILLAS DE ANÁLISIS.	134
3.4.1 Conclusiones generales sobre la clasificación de los artículos.	134
3.4.2 Conceptos en los artículos teóricos	136
3.4.3 El uso de la tabla periódica en las propuestas didácticas	144

CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA: DISEÑO DE INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE DATOS Y ANÁLISIS DE CONTENIDO SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA TABLA PERIÓDICA EN LOS LIBROS DE TEXTO Y EN LAS CLASES _____ 151

4.1	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA METODOLOGÍA _____	151
4.2	DISEÑO DE LA ENCUESTA Y LA PLANTILLA DE ANÁLISIS _____	153
4.2.1	<i>Preguntas sobre el concepto de elemento químico _____</i>	<i>154</i>
4.2.2	<i>Secuencias para introducir la tabla periódica _____</i>	<i>167</i>
4.2.3	<i>Aspectos relacionados con la ley periódica y los formatos para representarla _____</i>	<i>175</i>

CAPÍTULO 5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS LIBROS DE TEXTO _____ 181

5.1	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA _____	181
5.2	DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DEL LIBRO LE1: VALORACIÓN DE LOS ÍTEMS Y ESQUEMAS DE INTERPRETACIÓN _____	182
5.2.1	<i>Índice y descripción del “relato” sobre la tabla periódica _____</i>	<i>182</i>
5.2.2	<i>Asignación de los ítems correspondientes en la plantilla de análisis _____</i>	<i>185</i>
5.3	ANÁLISIS GLOBAL PARA CADA APARTADO DE LA PLANTILLA DE ANÁLISIS _____	199
5.3.1	<i>Primer enunciado: etiquetas que se usan para referirse a los elementos químicos _____</i>	<i>200</i>
5.3.2	<i>Segundo enunciado: atributos de los elementos químicos _____</i>	<i>201</i>
5.3.3	<i>Tercer enunciado: propiedades periódicas de los elementos químicos _____</i>	<i>203</i>
5.3.4	<i>Cuarto enunciado: secuencia para introducir la tabla periódica _____</i>	<i>205</i>
5.3.5	<i>Quinto enunciado: aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato _____</i>	<i>208</i>
5.3.6	<i>Sexto enunciado: atributos de la ley periódica _____</i>	<i>210</i>
5.3.7	<i>Séptimo enunciado: predicciones, correcciones y acomodación _____</i>	<i>211</i>
5.3.8	<i>Octavo enunciado: razones para enseñar la tabla periódica _____</i>	<i>213</i>
5.4	ANÁLISIS PARTICULAR DE LOS LIBROS DE TEXTO _____	216
5.4.1	<i>Libro LE1 _____</i>	<i>220</i>
5.4.2	<i>Libro LE2 _____</i>	<i>222</i>
5.4.3	<i>Libro LE3 _____</i>	<i>224</i>
5.4.4	<i>Libro LE4 _____</i>	<i>226</i>
5.4.5	<i>Libro LE5 _____</i>	<i>228</i>
5.4.6	<i>Libro LE6 _____</i>	<i>230</i>
5.4.7	<i>Libro LB1 _____</i>	<i>232</i>
5.4.8	<i>Libro LB2 _____</i>	<i>234</i>
5.4.9	<i>Libro LB3 _____</i>	<i>236</i>
5.4.10	<i>Libro LB4 _____</i>	<i>238</i>

5.4.11	Libro LB5	240
5.4.12	Libro LB6	242
5.4.13	Libro LB7	244
5.4.14	Libro LB8	246
5.4.15	Libro LB9	248
5.4.16	Libro LB10	250
5.4.17	Libro LB11	252
5.4.18	Libro LB12	254
5.5	5.5.RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS LIBROS DE TEXTO	256
5.5.1	Resultados del análisis global	256
5.5.2	Resultados del análisis individual	262
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS ENCUESTAS		269
6.1	GRUPO DE PROFESORES QUE RESPONDIÓ LA ENCUESTA	269
6.2	INTERPRETACIÓN GLOBAL DE LAS RESPUESTAS PARA CADA PREGUNTA DE LA ENCUESTA	270
6.2.1	Primera pregunta: etiquetas para referirse a los elementos químicos	271
6.2.2	Segunda pregunta: atributos de los elementos químicos	275
6.2.3	Tercera pregunta: propiedades periódicas de los elementos químicos	277
6.2.4	Cuarta pregunta: secuencias para introducir la tabla periódica	279
6.2.5	Quinta pregunta: aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato	281
6.2.6	Sexta pregunta: atributos de la ley periódica	283
6.2.7	Séptima pregunta: predicciones, correcciones y acomodación	284
6.2.8	Octava pregunta: razones para enseñar la tabla periódica	286
6.3	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE CADA ENCUESTA	288
6.3.1	Persona 1, encuestas E1 y B1	289
6.3.2	Persona 2, encuestas PE2 y PB2	290
6.3.3	Persona 3, encuestas PE3 y PB3	296
6.3.4	Persona 4, encuestas PE4 y PB4	297
6.3.5	Persona 5, encuesta PE5	300
6.3.6	Persona 6, encuestas PE6 y PB6	303
6.3.7	Persona 7, encuestas PE7 y PB7	306
6.3.8	Persona 8, encuestas PE8 y PB8	311
6.3.9	Persona 9, encuestas PE9 y PB9	314
6.3.10	Persona 10, encuestas PE10 y PB10	317
6.3.11	Persona 11, encuesta PB11	321
6.3.12	Persona 12, encuesta PB12	324
6.3.13	Persona 13, encuestas PE13 y PB13	327

6.4	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS A LAS ENCUESTAS _____	329
6.4.1	<i>Resultados del análisis global</i> _____	329
6.4.2	<i>Resultados del análisis individual</i> _____	332
CAPÍTULO 7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y RESPUESTA A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN _____		337
7.1	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS _____	337
7.1.1	<i>Tendencias generales</i> _____	337
7.1.2	<i>Comentarios finales sobre los “relatos” en los libros de texto y las secuencias en las encuestas</i> _____	362
7.2	RESPUESTA A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN: LA FUNCIÓN DOCENTE DE LA TABLA PERIÓDICA _____	364
7.2.1	<i>Núcleos conceptuales y función de la tabla periódica en la investigación didáctica reciente</i> _____	364
7.2.2	<i>La función de la tabla periódica en los libros de texto</i> _____	369
7.2.3	<i>La función de la tabla periódica en la práctica docente</i> _____	371
7.2.4	<i>La función de la tabla periódica: entre catálogo de clasificación y herramienta heurística para el aprendizaje</i> _____	374
CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES, IMPLICACIONES DIDÁCTICAS, LIMITACIONES Y PROSPECTIVAS _____		377
8.1	CONCLUSIONES REFERIDAS A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN _____	377
8.1.1	<i>Núcleos conceptuales y función de la tabla periódica en la investigación didáctica reciente</i> _____	377
8.1.2	<i>La función de la tabla periódica en los libros de texto</i> _____	381
8.1.3	<i>La función de la tabla periódica en las respuestas de los profesores</i> _____	383
8.1.4	<i>La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química. Clasificar o aprender</i> _____	385
8.2	IMPLICACIONES DIDÁCTICAS, LIMITACIONES Y PROSPECTIVAS _____	387
ÍNDICE DE TABLAS _____		391
ÍNDICE DE FIGURAS _____		395
BIBLIOGRAFÍA _____		401
ANEXO _____		419

Introducción

A pesar del acuerdo que existe entre los diversos actores de la educación sobre la necesidad de la formación científica durante las etapas de enseñanza obligatoria, no ha sido fácil poner en práctica dicho acuerdo y decantarlo en el diseño de ambientes coherentes con una “Enseñanza de las ciencias para todos”; es decir, ambientes que proporcionen a *todos* los alumnos, independientemente de su futura dedicación académica y/o profesional, los recursos necesarios para vivir y participar como ciudadanos activos y responsables en sociedades democráticas de un mundo que está cambiando permanentemente y cada vez más rápido.

Los investigadores en didáctica de las ciencias han asumido el reto de diseñar estos ambientes, planteando preguntas no sólo sobre cómo se deben enseñar determinados contenidos científicos, sino también sobre cuáles deben ser estos contenidos y cómo se deberían secuenciar; y preguntándose, también, qué valores se deben promover teniendo en cuenta los intereses de los alumnos, los sentimientos, el lenguaje que usan, los contextos particulares, etc. (Izquierdo-Aymerich et al. 1999; Izquierdo-Aymerich y Alíberas 2004).

En este sentido, y con el fin de favorecer dichos objetivos, la didáctica de las ciencias ha ido configurando un marco teórico como fundamentación de una teoría de los contenidos escolares que, apoyándose en las nuevas aportaciones de las ciencias cognitivas, de la lingüística, de la historia y de la filosofía, reconoce una estrecha relación entre “conocer” y “actividad”, y que sugiere que los “contenidos escolares” deben favorecer que los alumnos puedan ser los protagonistas de su propia actividad científica (Izquierdo-Aymerich 2005b).

Particularmente en el contexto de la enseñanza de la química, se trata de diseñar ambientes de trabajo escolar donde los alumnos puedan practicar una “actividad química genuina” y que estos ambientes les garanticen el aprendizaje y la utilización de maneras de pensar, de comunicarse y de hacer, cercanas a las de los químicos, pero adaptadas a su contexto escolar. Para lograr esto, como plantea Izquierdo-Aymerich “... *a good strategy is to look for those criteria in the philosophy and history of chemistry, from the perspective of didactics of science*” (2013, p. 1633).

La importancia de la filosofía de la química en la didáctica se está haciendo cada vez más evidente desde que, a mediados de los años 90, algunos filósofos y químicos comenzaron a cuestionar la posición de la física como paradigma representativo de la ciencia y el consiguiente enfoque que compara todas las leyes con los mismos parámetros, es decir, en palabras de Emma Tobin “*the naïve normative approach*” (2013, p. 1582). Desde entonces comenzó a haber una gran actividad científica focalizada en estudiar la química desde una perspectiva filosófica y, poco a poco, este interés ha ido permeando la didáctica de las ciencias, de tal manera que en los últimos años han aumentado considerablemente las publicaciones al respecto. La edición especial de la revista *Science & Education* es un testimonio de este interés creciente “... *in capitalizing on the philosophical aspects of chemistry for the improvement of chemical education*” (Erduran 2013, p. 1560).

La ley periódica de los elementos químicos es, precisamente, una de las piedras angulares en esta “capitalización” de aspectos filosóficos de la química, no sólo por la importancia que tiene en la historia de la química (Bensaude-Vincent 1991; Scerri 2007; Scerri, Eric R 2013), en la filosofía de la química (Erduran y Scerri 2002; Erduran 2007; Tobin 2013) y en la enseñanza de la química (Linares y Izquierdo-Aymerich 2007; Linares 2004; González 2013a), sino también porque (y aquí radica la especial importancia didáctica que tiene y que queremos resaltar) representa uno de los hitos en los que, con ayuda de la filosofía y la historia de la química, se puede identificar la emergencia de conceptos químicos básicos, en los cuales se puede basar el diseño de la química escolar (Izquierdo-Aymerich 2013, 2014).

Estas consideraciones, que desarrollaremos más adelante, además de la fascinación por la gran complejidad de las relaciones que los profesores de química, han configurado a lo largo de la historia (y siguen configurando) entre la ley periódica y sus diversas representaciones, nos han animado a continuar construyendo un camino en el que ya habíamos dado algunos pasos, estudiando las estrategias retóricas que usan los libros de texto para introducir la tabla periódica (Agudelo 2008; Agudelo, Marzábal y Izquierdo-Aymerich 2009). Seguimos la enriquecedora estela que nos dejó con su tesis la doctora Rita Linares (2004), en la cual abordó el estudio de la tabla periódica desde una perspectiva sugerente que nos ha servido de referencia para este trabajo y que nos muestra un amplio panorama sobre la tabla periódica en el que se puede ver el gran potencial que tienen como herramienta didáctica y que, por lo tanto, es una motivación para continuar explorándolo.

En su tesis, Linares (2004) estudió las funciones que le dan los profesores a la tabla periódica y las relacionó con la visión de elemento químico. Sus resultados describen diversos perfiles en los cuales cada función está relacionada con una determinada visión de elemento: la *función didáctica* está relacionada con la visión de elemento como *sustancia*, la *función organizativa* está relacionada con la visión de elemento como *símbolo*, y la *función macro* está relacionada con la visión *indefinida* de elemento químico. Además, Linares pudo analizar y relacionar las diversas vías por las cuales acceden a la enseñanza de la Tabla Periódica los libros de texto universitarios de química general: la *vía sustancialista*, la *vía histórica* y la *vía mecanocuántica*.

Partiendo de esta perspectiva, hemos querido profundizar en las funciones que se le otorgan a la tabla periódica, no sólo en los libros de texto y en la práctica docente sino también en el contexto de la investigación didáctica, para hacer una comparación entre los usos que tiene en cada uno de estos tres contextos. Nos interesa estudiar cuáles son los conceptos, las prácticas y las valoraciones que son compartidas respecto al uso de la tabla periódica, y cómo influye esto en las funciones que se le otorgan en los tres contextos.

Para ello, como lo explicaremos más adelante, hicimos una revisión bibliográfica sistemática en revistas representativas de la didáctica de la ciencia y de la química; analizamos y clasificamos los artículos que abordan la tabla periódica y los elementos químicos en categorías emergentes a partir de los núcleos conceptuales más importantes que encontramos y, a partir de los resultados de este análisis, diseñamos un doble instrumento: una plantilla para analizar libros de texto de niveles preuniversitarios y una encuesta para suministrar a un grupo de profesores de ESO y bachillerato. Tanto la plantilla como la encuesta, con pequeñas diferencias que también explicaremos, “preguntan” sobre la pertinencia de tratar, en los niveles correspondientes, los núcleos teóricos encontrados en los artículos analizados.

Capítulo 1

Planteamiento del problema

1.1 Objetivos y preguntas de investigación

La propia experiencia en docencia escolar científica y el especial interés por la tabla periódica nos ha mantenido atentos a la extensa proliferación de propuestas e iniciativas de diversa índole, con la consiguiente sensación de (permítaseme el oxímoron fácil) *saturación vacía* que, seguramente, compartimos muchos profesores cuando buscamos recursos para enriquecer las clases. Esto ha servido de motivación para buscar e intentar concretar preguntas que nos ayuden (a los profesores) a afinar el sentido crítico en el diseño de actividades y aportar con ello un grano de arena a la didáctica de la química. Y que, junto con tantos otros (además de los grandes terrones también) “hagamos montón”; o utilizando el mismo sorites, pero químico: aportar una partícula, para que junto con tantas otras “hagamos propiedad macroscópica”.

Consideramos que los profesores tenemos la tarea obligada de plantear preguntas (también a nosotros mismos) y de utilizarlas para afinar el sentido crítico en la búsqueda de recursos significativos, dentro del océano de información actual, así como la tarea de diseñar clases que enriquezcan las vivencias químicas de cualquier persona, en las etapas de su educación obligatoria, de tal manera que le sean útiles para su condición de ciudadano. Esta obligación es inherente al hecho de aceptar que estamos ante un futuro incierto y que debemos actuar en consecuencia, en el presente que nos ha tocado vivir, lleno de incertidumbre.

En este sentido, compartimos la idea de Chamizo (2013), según la cual el reto de educar para la incertidumbre implica descartar todo aquello que no tendrá sentido en la vida de los estudiantes, aclarar qué es lo que se quiere mantener y cómo hacerlo, escapando de cualquier prioridad que no esté dirigida a fomentar la habilidad para el manejo del cambio; escapando, por ejemplo, de la concepción frecuentemente aceptada, que a penas está empezando a cambiar, conforme a la cual los profesores debemos reproducir lo que aprendimos, que generalmente son conocimientos y costumbres que pasan de generación en generación.

Siguiendo con Chamizo (2013), afrontar este reto paradójico de la educación para la incertidumbre requiere reconocer y escapar de la posición dominante del currículo de química que se ha establecido mundialmente, que continuamos reproduciendo de manera acrítica, y que se reproduce en los libros de texto en forma de ciencia normalizada, en el sentido de Kuhn. De esta manera, la educación química normalizada perpetúa algunas premisas, de las cuales nos interesa resaltar la premisa filosófica que afirma que

“Todo el currículo actual de química tiene una estructura sustantiva dominante basada en la teoría corpuscular, la cual es rígidamente combinada con una estructura filosófica específica, el positivismo, y una estructura pedagógica específica, la iniciación y preparación de los futuros químicos profesionales” (Chamizo 2013, p. 39)

Teniendo en cuenta lo anterior, nos hemos interesado por saber cual es la función didáctica que cumple la tabla periódica en los libros de texto y si esta función (o funciones) puede contribuir a la perpetuación de la posición dominante del currículo de química, que está basada fundamentalmente en la teoría corpuscular, estructurada según el positivismo lógico y dirigida a la preparación de los futuros químicos profesionales que, obviamente, no son todas las personas que estudian química en las etapas de educación obligatoria. Queremos conocer, pues, en qué medida la función que se le da a la tabla periódica en la enseñanza habitual puede ayudar a perpetuar la idea de que la química es una indagación sobre cómo son los materiales (que están formados por átomos) más que una ‘actuación sobre los materiales para transformarlos’, idea clave en la que se debe basar una enseñanza de la actividad química genuina, una química escolar (Izquierdo-Aymerich 2013, 2014).

Consideramos que esta cuestión tiene relevancia no sólo porque la tabla periódica es uno de los íconos universales de la ciencia y “*Casi todo el mundo, por muy elementales que sean sus conocimientos de química, es capaz de recordar la existencia de la tabla periódica...*” (Scerri, Eric R 2013, p. 13); sino que además está presente en la mayoría de los cursos de química, en la mayoría de los libros de texto de química, y ha tenido un incuestionable papel protagonista en la historia de esta disciplina. Es razonable y, como lo mostraremos en el marco teórico, es sustentable, el hecho de pensar que la manera de representar la ley periódica y el uso que se haga de ella, podría cumplir un

papel vehicular importante en la propagación de unas costumbres determinadas, sustentadas por unas ideologías determinadas; pero, por las mismas razones, podría ser una herramienta esencial para ejercer la herejía a la que nos invita Chamizo (2013), y construir maneras de escapar de la ortodoxia de la posición dominante del currículum de química.

Concretamente, y esto es lo que consideramos que le da la mayor relevancia a esta investigación, veremos que el momento histórico en el que se desarrolló la tabla periódica es considerado, desde el punto de vista histórico-filosófico, como uno de los momentos de la evolución de la química en que *“...pueden verse las entidades químicas en el mundo, antes de que se formalicen y se conviertan en lenguaje teórico, críptico para los que no formularon las preguntas”* y por este motivo, entre otras razones, conforma uno de los hitos de la historia de la química a tener en cuenta para el diseño de la química escolar (Izquierdo-Aymerich 2014, p. 16).

En este trabajo abordamos tres aspectos que convergen en el problema general que nos hemos planteado, que es el de identificar la función didáctica de la tabla periódica y su posible papel en la perpetuación de la idea de que los átomos son el objeto de estudio de la química, en vez de ser herramientas para pensar los cambios e intervenirlos mediante las manipulaciones, que son el verdadero objeto de estudio de la química (Izquierdo-Aymerich 2013, 2014). Los tres aspectos giran en torno a las siguientes preguntas, que explicaremos en seguida: ¿qué función cumple la tabla periódica según lo publicado recientemente por la didáctica de las ciencias? ¿qué función cumple la tabla periódica en los “relatos” que usan los libros de texto para introducirla? ¿qué función cumple la tabla periódica en la actividad docente? ¿en qué medida se corresponde esta función con las anteriores? ¿podemos decir que existe una enseñanza “normal” de la tabla periódica que perpetúa la idea de que el conocimiento de las entidades teóricas son un fin de la química más que un medio?

1.1.1 Núcleos conceptuales y función de la tabla periódica en la investigación didáctica. Primera pregunta de investigación

Para indagar sobre lo que se ha publicado últimamente en las revistas didácticas sobre la tabla periódica hemos acotado un subconjunto de los recursos que

encontramos en la revisión bibliográfica general que hicimos para esta investigación. Esto lo hicimos con dos propósitos: El primero es definir y caracterizar una muestra de revistas (y de artículos), como lo describiremos en el capítulo 3, para poder hacer una clasificación, e identificar cuáles son los núcleos conceptuales alrededor de los cuales giran las discusiones teóricas, y las propuestas didácticas, sobre la tabla periódica en los últimos 15 años. El segundo propósito es aprovechar esta clasificación, fruto de la revisión sistemática, para proporcionar una herramienta de consulta útil para cualquier investigación sobre la tabla periódica y su enseñanza. A partir de estas consideraciones, formulamos la primera pregunta de investigación y los objetivos que nos hemos propuesto para contestarla:

Primera pregunta de investigación (PI1)

¿Cuáles son los núcleos conceptuales con mayor presencia en la investigación didáctica reciente sobre la tabla periódica y qué función didáctica se le otorga?

Objetivos correspondientes a la PI1

- a) Acotar una muestra representativa de revistas didácticas publicadas en los últimos 15 años e identificar los artículos que abordan el tema de la tabla periódica
- b) Clasificar los artículos mediante categorías emergentes, según los núcleos conceptuales que tienen más presencia en la muestra.
- c) Diseñar un instrumento, a partir de las categorías emergentes, para analizar libros de texto y encuestas suministradas a profesores

1.1.2 La función de la tabla periódica en los libros de texto.

Segunda pregunta de investigación

Investigaciones sobre currículo y libros de texto en diversos países de occidente revelan que por medio de éstos se promueve una enseñanza de la química centrada en la ciencia “acabada”, en la que predominan los algoritmos y la teoría corpuscular, sin una relación consistente entre los niveles de fenómeno y corpúsculo. Esta visión descontextualizada se combina frecuentemente con una estructura filosófica positivista y enfoques para instruir futuros químicos más que para enseñar química a cualquier ciudadano (Chamizo 2013). Adicionalmente, estas visiones se presentan y

se refuerzan con el uso de un lenguaje de “etiqueta”, que descuida el carácter interpretativo, más cercano a los alumnos, y que también utilizan los científicos en determinadas etapas de sus investigaciones (Sutton 1997).

Teniendo en cuenta la dimensión retórica de los libros de texto, según el lenguaje y las estrategias que usan éstos pueden “persuadir de maneras diferentes” a los lectores (Izquierdo-Aymerich 2005a). Generalmente están configurados de tal forma que persuaden sobre una ciencia positivista, que es como una colección de verdades o hechos definitivos, sin un desarrollo histórico de los conceptos (Henaó, Moreira y Sousa 2005). En concordancia con ello, se suelen usar modelos descontextualizados, analogías incompletas, diagramas y dibujos con objetivos sin especificar, que no contribuyen a la comprensión de los lectores (Linares 2004).

Particularmente, cuando se presenta la tabla periódica, estas visiones de ciencia lógico-positivista se refuerzan mediante el uso generalizado de configuraciones electrónicas y orbitales para explicar la periodicidad de los elementos, sin tener en cuenta en qué medida y en qué contextos la mecánica cuántica puede proveer una explicación (Scerri 2007). De esta manera, las explicaciones de los fenómenos químicos quedan reducidas a la física, como si la ley periódica fuera deducible de la mecánica cuántica en el mismo sentido que lo son algunas leyes físicas (Erduran 2007). Un gran problema de estos enfoques es que perpetúan la posición dominante del currículo de química y deforman la imagen de la ciencia, mientras permanecen alejados de la vida de los estudiantes “no persuadidos”. A partir de estas consideraciones, formulamos la segunda pregunta de investigación y los objetivos que nos hemos propuesto para contestarla:

Segunda pregunta de investigación (PI2):

¿Cuáles son los “relatos” predominantes en los libros de texto al introducir la tabla periódica y qué función didáctica le otorgan?

Objetivos correspondientes a la PI2

- a) Identificar los núcleos conceptuales (de los que encontramos en PI1) que están presentes en los libros de texto

- b) Interpretar la relación entre los núcleos conceptuales presentes en los libros de texto y construir “relatos” característicos que usan cuando introducen la tabla periódica

1.1.3 La función de la tabla periódica en la práctica docente. Tercera pregunta de investigación

Como reportan diversos investigadores, la planeación docente está íntimamente ligada al uso de los libros de texto, sobretodo porque muchas veces se suele identificar “material curricular” con “libro de texto” (del Carmen y Jiménez 2010). De hecho, en muchos contextos, se establecen como el único recurso para el profesor y se convierten en “el” plan de estudios propiamente dicho, de tal manera que determinan ampliamente lo que se enseña y, por lo tanto, lo que no se enseña (Níaz y Maza 2011).

La relación de los profesores con el libro de texto, como reconocen Perales y Vilches (2012), suele ser de amor y desamor porque al mismo tiempo que proporciona seguridad y comodidad, también condiciona y restringe el trabajo en el aula. En cualquier caso, es una herramienta que sigue siendo muy valorada por diversos motivos: porque a menudo los contenidos de los libros sirven como actualización científica de los profesores, porque son un material cómodo para almacenar y transportar información depurada (que de otra manera estaría muy dispersa), porque proponen actividades, ayudan a compatibilizar diversos ritmos de aprendizaje y, como decíamos antes, dan seguridad al profesor, sobretodo en el contexto actual de desorientación por las reformas educativas (de Pro y de Pro 2011).

Concretamente, en el caso del tratamiento de la tabla periódica, Franco-Mariscal y Oliva-Martínez (2013c), señalan que las prácticas de los profesores de secundaria están marcadas especialmente por la formación inicial y la influencia de los libros de texto. En su investigación, sobre la cual volveremos más adelante, los autores reportan los resultados de analizar entrevistas en las cuales se pregunta a expertos (13 profesores en activo) sobre cuáles temas consideran que deben tratarse en secundaria para enseñar la tabla periódica y en qué orden. Por el momento, resaltamos que gran parte del peso de las decisiones se basa en el grado de abstracción de los conceptos y que, como los autores reconocen, algunos de los aspectos que se suelen tratar

alrededor de la tabla periódica en secundaria “... *no son básicos para la comprensión ciudadana, sino que irían más bien orientados hacia una formación específica...*” (2013c, p. 50). Por este motivo, ellos opinan que entre 1º y 3º de ESO, el estudio del tema debería limitarse a la familiarización con los nombres y los símbolos de los elementos y con su identificación en la vida cotidiana.

Todas estas ideas nos hacen pensar que es interesante comparar la opinión de los profesores con lo que encontramos en los libros de texto y con lo que dicen los expertos en los trabajos que se están publicando actualmente. Es por esto que diseñamos un instrumento que nos sirve para comparar los tres contextos: está diseñado a partir de uno de ellos (la investigación didáctica) y lo usamos para buscar información en los otros dos (libros e ideas de profesores).

Ahora bien, los libros de texto como objeto de estudio, tienen la ventaja de que siempre se pueden consultar y es posible contextualizar la información a partir de la macroestructura (Marzàbal 2010), mientras que las encuestas tienen el peligro de la descontextualización. Pensando en esto, para estudiar las respuestas de los profesores, y establecer perfiles, nos preguntamos por la secuenciación, y no por el “relato”. A partir de estas consideraciones, formulamos la tercera pregunta de investigación y los objetivos que nos hemos propuesto para contestarla:

Tercera pregunta de investigación (PI3):

¿Cuáles son las características predominantes de las secuencias que utilizan los profesores para introducir la tabla periódica y qué función didáctica le otorgan?

Objetivos correspondientes a la PI3

- a) Identificar los núcleos conceptuales (de los que encontramos en PI1) que los profesores consideran más importantes para tratar en clase
- b) Interpretar la relación entre los núcleos conceptuales que los profesores consideran más importantes para construir las secuencias características que usan al introducir la tabla periódica

A partir de la identificación de las funciones de la tabla periódica en cada uno de los tres contextos esperamos reconocer si éstas (o cuáles de ellas) pueden ayudar a

incentivar una actividad química escolar para todos, con un enfoque naturalista, centrada en las interacciones químicas como objetivo, donde las entidades teóricas son herramientas de pensamiento; o sí, por el contrario, contribuyen a perpetuar una química “normal”, con un enfoque positivista lógico, centrada en el átomo como objetivo de estudio y planeada para futuros químicos.

Para responder estas preguntas hemos enmarcado la recogida, el análisis y la interpretación de los datos dentro del paradigma de la investigación cualitativa o interpretativa, mediante un análisis de contenido que combina técnicas cualitativas y cuantitativas.

1.2 Organización general de la memoria

Esta memoria se estructura en 8 capítulos acompañados de un CD adjunto que contiene 4 anexos. En el primer planteamos el problema y presentamos los objetivos y las preguntas de investigación.

En el segundo capítulo planteamos el marco teórico, estructurado en cuatro partes. En la primera parte describimos el marco didáctico general, en la segunda parte concretamos el marco al contexto particular de la didáctica de la química, en la tercera concretamos más y establecemos las directrices históricas y filosóficas sobre la tabla periódica en las cuales nos apoyamos; y, en la cuarta parte, presentamos algunos aspectos para definir el libro de texto como objeto de estudio.

El tercer capítulo, estructurado en cuatro partes, describe el análisis y la clasificación de los artículos de investigación e innovación didáctica presentes en la muestra seleccionada. En la primera parte planteamos los propósitos de la revisión bibliográfica sistemática. En la segunda parte describimos la muestra, clasificamos y reseñamos los artículos. Y finalizamos el capítulo con las conclusiones de esta revisión que serán las directrices del diseño del instrumento de análisis para los libros de texto y las encuestas suministradas a los profesores.

En el cuarto capítulo describimos el diseño de los instrumentos para recoger y analizar los datos referentes a los libros de texto y a los profesores. Describimos y

justificamos cada una de las preguntas de la encuesta así como cada uno de los ítems que colocamos para su valoración, que se han inspirado en la investigación didáctica. También describimos y explicamos los esquemas de interpretación de los datos.

En el quinto capítulo utilizamos la plantilla diseñada para analizar los libros de texto. En la primera parte describimos la muestra, en la segunda describimos con detalle cómo obtuvimos los datos de los libros de texto, tomando uno de ellos como ejemplo, en la tercera hacemos una interpretación del análisis conjunto, en la cuarta interpretamos los datos de cada libro y elaboramos los perfiles de cada uno de los libros y en la quinta parte presentamos los resultados de todo el análisis de los libros.

El capítulo sexto presenta el análisis de las encuestas. En la primera parte describimos el contexto del grupo de profesores encuestados, en la segunda hacemos la interpretación conjunta de las respuestas obtenidas, en la tercera presentamos la interpretación individual y la construcción de los perfiles de cada una de las encuestas y, finalmente, en la cuarta parte, presentamos los resultados de todo el análisis de las encuestas.

En el capítulo séptimo hacemos una comparación de los resultados obtenidos en los tres análisis y respondemos las preguntas de investigación.

Por último, en el octavo capítulo presentamos las conclusiones, las implicaciones didácticas que puede aportar esta investigación, las limitaciones y debilidades del trabajo y los posibles caminos de investigación que se podrían seguir a partir de él.

Capítulo 2

Marco teórico

Este trabajo se inscribe en un marco que propone estudiar lo que sucede en la clase de ciencias como una actividad humana que se desarrolla en un contexto específico con objetivos y valores propios: una “actividad científica escolar” (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004), en la que interactúan el lenguaje, el pensamiento y la acción dentro del “mundo” escolar como substrato. Bajo esta mirada teórica se toma como referente una visión de la ciencia, de la experimentación y del lenguaje de la ciencia como actividades humanas, con un enfoque naturalista que centra la atención en cómo se realizan dichas actividades más que en cómo deberían realizarse. Se considera al sujeto y a las interacciones que éste construye con el mundo físico y social a través del lenguaje como foco de estudio, situándonos en un punto intermedio entre posturas extremas que suelen tratar el lenguaje como una pura formalización (como conocimiento objetivo de la realidad) y las que lo conciben como una construcción subjetiva, con el grado de utilidad como valor único. En otras palabras, se considera que el conocimiento del mundo, el lenguaje con el que lo describimos y con el que compartimos dicho conocimiento no es algo que está únicamente en nuestra cabeza, ni es tampoco una característica del mundo independientemente de nosotros, sino que está en la interacción misma, con el mundo que aprehendemos, con los significados que construimos y con las otras personas con las que lo compartimos.

La ciencia que tomamos como referente para favorecer que en la escuela exista una verdadera actividad científica escolar que sitúe al alumno en un contexto educativo estimulante para aprender a usar el lenguaje, al mismo tiempo que determinados modelos reconocidos por la comunidad científica (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004), es una ciencia considerada como actividad humana, elaborada y ejercida por personas racionales que quieren transformar el mundo planteándose unos objetivos más o menos claros: una ciencia racional y razonable.

Partiendo de lo anterior, los referentes de nuestra investigación giran alrededor de tres aspectos que tratamos en cada una de las secciones de este capítulo. En la primera parte nos referimos a la Actividad Científica Escolar (ACE) como marco didáctico general, según el cual los alumnos aprenden ciencia mientras aprenden a hablar, a pensar y actuar de manera científica. Concretamente nos apoyamos en el enfoque histórico y filosófico de la

enseñanza de la química que proporciona el marco de la Química Escolar (Izquierdo-Aymerich 2013, 2014), que tratamos en la segunda parte, y que se basa en las estrategias de modelación para estructurar las actividades de la clase de química, tomando como referente principal los “relatos” sobre la emergencia de las entidades teóricas que proporciona la historia de la química. En la tercera parte tratamos algunos aspectos históricos y filosóficos de la tabla periódica, a los cuales recurrimos para relacionar el papel que ha tenido en la construcción de las entidades químicas a través de la historia con la función didáctica que puede tener en la química escolar, a partir de su papel heurístico. En esta tercera parte también tratamos el papel que puede tener la tabla periódica en la visión del currículo de química considerada como “la posición dominante” (Chamizo 2013), que perpetúa un enfoque filosófico y didáctico alejado de la química escolar. En la cuarta y última parte de este capítulo, enmarcamos el libro de texto como objeto de investigación dentro del contexto didáctico descrito.

Con todo ello intentaremos identificar la aportación específica que puede hacer el estudio de la tabla periódica a la ACE.

2.1 Actividad Científica Escolar (ACE): Hablar, pensar y actuar.

Teniendo en cuenta que la clase de ciencias es un contexto en el que interactúan profesores, alumnos y diferentes conocimientos de unos y otros, así como sus valores, sus actitudes y sus respectivas “historias” personales, y que el lenguaje es la principal herramienta para el intercambio y generación de conocimientos, nos adherimos a la postura teórica de diversos autores que es pilar fundamental para la ACE, según la cual aprender ciencias es aprender a usar el lenguaje de una manera determinada (Lemke 1997, 1989 ; Izquierdo-Aymerich y Sanmartí 2000), más cercana al uso interpretativo que como una simple etiqueta de las cosas (Sutton 1992, 1997) y que tiene en cuenta la ruptura que existe entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje erudito de los científicos (Galagovsky y Agustín Adúriz-Bravo 2001).

En nuestra cultura, y particularmente en la enseñanza, participan en la comunicación una gran diversidad de sistemas de signos o modos semióticos (verbal, gestual, visual, etc.), lo que nos lleva a la necesidad de una visión multimodal de la comunicación, basada en la utilización orquestada de los diferentes modos semióticos en las clases de ciencias. Esto ha generado un particular interés didáctico en los últimos años (Márquez 2002) y se ha

configurado una línea de investigación dirigida a la apropiación del lenguaje científico, reflexionando sobre los problemas de acoplamiento entre éste y el lenguaje de los alumnos, teniendo en cuenta el contexto como un problema didáctico que hace evidente, como decíamos antes, la “incomunicación” entre la ciencia erudita y la ciencia escolar (Galagovsky y Agustín Adúriz-Bravo 2001).

Si, como decíamos, aprender ciencias es aprender a hablar y a comunicarse de una manera determinada (Lemke 1989; Izquierdo-Aymerich y Sanmartí 2000; Lemke 1997), entonces, en palabras de Sutton (2003, p. 21) se trata de: “*usar el lenguaje de manera interpretativa*”, de una manera en la cual el profesor es una “*...guía hacia mundos mentales que son nuevos para los estudiantes y que alguna vez fueron totalmente nuevos para la humanidad*”, de tal forma que el alumno vaya sintiendo la necesidad de utilizar como herramienta de comunicación los conceptos que va construyendo mientras, al mismo tiempo, estructura sus caminos de razonamiento (Sardà y Sanmartí 2000).

Todo esto se debe integrar en una educación que brinde a los alumnos las herramientas para usar el saber científico para sí mismos y en la sociedad, en una educación que les permita a todos, y no sólo a unos pocos que se preparan para ser científicos, “vivir la ciencia” en la escuela y adquirir un mayor protagonismo como agentes que aprenden junto con sus compañeros y sus profesores, construyendo su propia “historia de la ciencia”, pensando, hablando, actuando y generando conocimiento, mientras evolucionan sus representaciones del mundo hacia una mayor simplicidad y abstracción (Izquierdo-Aymerich 2005b).

En este sentido, como decíamos antes, la atención al lenguaje juega un papel fundamental para enfocar el trabajo hacia una nueva cultura que pueda garantizar mayor interacción entre alumno, profesor, conocimiento y material didáctico (Izquierdo-Aymerich 2000) y no dejar al profesor ni al libro de texto en el papel de transmisores de “paquetes etiquetados” de conocimiento aceptado que, como expertos, “entregan” para que los estudiantes “reciban”.

Frecuentemente, el enfoque “transmisor” no tiene en cuenta que en el vocabulario y la gramática subyace un contenido semántico que rara vez se comparte en el aula de clase, y que conviven el patrón estándar del profesor, el patrón estándar del libro de texto (no

exentos de errores e imprecisiones) y uno o más patrones alternativos de los alumnos que son producto del sentido común, del lenguaje cotidiano y de las experiencias anteriores de aprendizaje (Lemke 1997). Adicionalmente, como decíamos, en la emergencia del conocimiento está en juego el contexto de las personas que aprenden, sus intereses, sus emociones y con ello sus formas habituales de expresarse.

Para favorecer la configuración de un lenguaje que se acerque poco a poco al científico y para favorecer la construcción de modelos progresivamente más elaborados, el marco de la ACE proporciona una base para diseñar actividades (y materiales educativos como los libros de texto) con el objetivo global de que los alumnos puedan dar sentido a sus acciones, y no las tomen como tareas “para” el profesor que las asigna y al cual deben dirigirse en un lenguaje extraño.

Como cualquier otro tipo de actividad humana especializada, la ciencia tiene su propio lenguaje, que posee un conjunto de características que la deshumanizan. Al acostumbramos a usar este tipo de lenguaje de manera irreflexiva y permanente en las clases, estamos comunicando una idea deshumanizada de la actividad científica y contribuimos a que los alumnos la perciban mucho más alejada de su mundo y menos atractiva, en parte porque como lo afirma Lemke (1997, p. 143):

“Las aseveraciones acerca de cómo son los átomos o la tierra, tienden a ser menos interesantes para muchos de los alumnos que las aseveraciones acerca de quién hizo qué para conseguir formular esas ideas tan poco familiares”

Decíamos que el marco de la ACE proporciona una base para diseñar los ambientes escolares que faciliten que los alumnos vayan transformando su lenguaje, y que mediante esta transformación aprendan a usar y comunicar los modelos científicos, los términos especializados y el estilo de comunicación científica; pero para ello es necesario que los alumnos empiecen hablando de (y leyendo y escribiendo sobre) los fenómenos (que ellos observan) con sus propias palabras, por lo que “...*la actividad científica también es una actividad lingüística*” (Márquez 2005, p. 28).

Ahora bien, cuando insistimos en el trabajo de los científicos como una actividad llevada a cabo por personas que sienten y dudan, es válido tener en cuenta no sólo el producto acabado de sus investigaciones, en las que generalmente el lenguaje aparece frío y estático, sino también considerar otras etapas de la investigación por las que de alguna manera

también pasan los alumnos mientras transforman sus modelos y mientras transforman el lenguaje con el que los piensan y los comunican. En estas etapas previas a los resultados “definitivos”, los científicos también van transformando su lenguaje desde las primeras afirmaciones provisionales y personales, “interpretativas” según Sutton (1997), hacia una forma cada vez más neutra con la que se acostumbra presentar el conocimiento para que sea público. Cuando los alumnos se encuentran solamente con esta fase final (normalizada, en el sentido de Kuhn), en la que son meros receptores de información, posiblemente nunca “oirán” la voz interpretativa del científico que duda e imagina. En este sentido es determinante lo que leen, porque en el texto que se hace público es donde más se va oscureciendo la empresa humana de la ciencia (Sutton 1997). Este es precisamente uno de los problemas que presentan los libros de texto sobre el que tratamos en la segunda parte de este capítulo.

2.2 La Química Escolar

Una de las características propias de la química es que muchos de los fenómenos que explica son fácilmente observables, a veces espectaculares y sorprendentes, pero las entidades que se construyen para explicarlos están muy lejos del contacto directo de los estudiantes, y el lenguaje simbólico que las describe también es extremadamente ajeno a ellos. Esto hace que la química sea “... *al mismo tiempo una ciencia muy concreta y muy abstracta*” (Izquierdo-Aymerich, Sanmartí y Estaña 2007, p. 142).

Si existe, como lo mencionábamos en la introducción, una posición dominante del currículum de química que está centrada en átomos y moléculas, es decir, recargado hacia el lado abstracto de la química, también ha habido, por otra parte, algunas iniciativas (no tan duraderas en el tiempo ni tan influyentes) que, intentando escapar de esto, han huido hacia el otro lado y se quedan ancladas en el extremo fenomenológico. Como señalan Izquierdo-Aymerich y colaboradores (2007), esta dualidad se corresponde con dos formas más o menos paradigmáticas de enseñar la química: una que organiza el universo de los átomos (en la tabla periódica, por ejemplo), que los alumnos no conectan con lo que observan cotidianamente; y la otra que presenta experimentos que se quedan en la anécdota.

Por esto, el reto de escapar de la posición dominante del currículum de la química, como decíamos en la introducción, requiere tener muy claro qué es lo que se quiere mantener y

cómo hacerlo, de tal manera que todo lo que se haga tenga sentido para los estudiantes. En esta línea, Chamizo (2013, p. 42) cita algunas iniciativas interesantes que aportan directrices para conocer bien de dónde se quiere escapar, de qué se quiere escapar y cómo hacerlo. Cita, por ejemplo a Guy Claxton (1994) que habla de suspender cualquier prioridad que no ayude a fomentar la habilidad para el manejo del cambio; a Vicente Talanquer (2009), que sugiere recrear en la clase las actividades de los profesionales de la química (“las prácticas químicas”) como por ejemplo el control de calidad, investigación, modelaje y diseño de productos químicos. En definitiva, citando a Izquierdo-Aymerich et. al (2007), de lo que se trata es de desarrollar química escolar.

Dicho de otra manera, si la enseñanza debe favorecer el aprendizaje significativo (las “competencias de pensamiento científico”) como sugiere la OCDE, y si esto sólo es posible a través de actividades de clase que sean actividades científicas genuinas y que tengan sentido para los estudiantes, de tal manera que puedan elaborar explicaciones científicas del mundo como resultado de tales actividades (Izquierdo-Aymerich 2013, 2014), entonces es necesario impulsar proyectos que sean interesantes para los alumnos y *“... que permitan que aprendan a intervenir racionalmente en los cambios: pensando sobre ellos mediante las entidades científicas y hablando de ellas mediante un lenguaje científico”*. (Izquierdo-Aymerich, Sanmartí y Estaña 2007, p. 148).

Cuando el alumno puede lograr una intervención racional sobre los cambios de esta manera, se puede decir que está siguiendo un proceso de modelización; es decir, un proceso que da sentido a un “hecho del mundo” y lo convierte en un “hecho científico”. En este proceso, la diferencia entre los dos tipos de “hechos” es el “modelo”. La química escolar, debe estar diseñada entonces de tal manera que favorezca los procesos de modelización, y para ello es necesario seguir un camino en el cual la didáctica de la física y avanzado bastante más que la didáctica de la química, porque como afirman Izquierdo-Aymerich et al. (2007) *“La didáctica de la física ha elaborado numerosos ejemplos de este proceso [de modelización], pero no disponemos aún de suficientes ejemplos en química”*.

Durante estos últimos años se ha avanzado en la construcción del Modelo Teórico “Cambio Químico”, que se concreta en el Modelo Cambio Químico escolar, en el cual convergen las diferentes dimensiones cognitivas, y que *“... es una manera de ver en conjunto, lo más básico e irreductible de la química escolar”* (Merino-Rubilar 2009, p. 290). Como afirma

Izquierdo-Aymerich este Modelo Teórico Cambio Químico “...está formado por representaciones, lenguajes y aplicaciones específicas, que son los requisitos que Toulmin (1972) reclama para las disciplinas” (2014, p. 13).

Es por todo esto que para seguir avanzando en dicha construcción, y por lo tanto en el diseño de la Química Escolar, Izquierdo-Aymerich (2014, p. 13) plantea un debate en el que dialogan la historia, la filosofía y la didáctica de la química, dejando abierto el camino a la discusión sobre cuatro aspectos que forman parte de esta construcción. Estos aspectos son:

- a) Qué es la química y cuáles son sus *finalidades*;
- b) los *núcleos temáticos* de la química que se enseña, relacionados con estas finalidades y sin traicionar lo que es la química;
- c) las *estrategias de progresión/modelización/método*, en una “química que se enseña para ser aprendida”, que proceda de preguntas y actividad genuinas;
- d) los criterios que han de permitir enfrentarse a *problemas* de manera *competente*

La primera pregunta se aborda con un breve repaso de la evolución de la química a través de algunos hitos que nos acompañan y favorecen la acción de imaginar las entidades químicas antes de que se hubieran convertido en lenguaje formal, que es como nos las encontramos generalmente en los libros de texto. Este recorrido acaba con el hito del sistema periódico como respuesta a la pregunta ¿por qué reaccionan las sustancias? Y con ello la emergencia de la termodinámica química y la relación entre “estructuras físicas” y propiedades químicas (termodinámicas). Aquí nos interesa resaltar que con este breve recorrido histórico se muestra que

“... la química es ‘actuación sobre los materiales para transformarlos’ y no una indagación sobre cómo son los materiales. Su objeto de estudio son las manipulaciones, no los átomos; estos últimos son importantes en cuanto que ayudan a pensar sobre los cambios.” (2014, p. 21).

Ahora bien, la química escolar no puede ser diseñada como una reproducción de la historia, no es posible que los temas surjan por interés de los alumnos, o al azar; se deben seleccionar hechos químicos “idealizables” que correspondan al Modelo Teórico Cambio Químico (Merino-Rubilar 2009). De estos ‘hechos paradigmáticos químicos’, en los cuales se basa la propuesta de la Química Escolar, Izquierdo-Aymerich (2014) nos da algunas pistas para identificarlos, de las cuales resaltamos algunas: deben permitir intuir ‘los

elementos', requerir una cuantificación para derivar la noción de átomo químico, contribuir a identificar y caracterizar algunas sustancias simples y algunas compuestas, proporcionar una noción de 'sistema general de la química' (y la pregunta sobre las diferencias entre sustancias que provocan el cambio).

Si conocemos los momentos de emergencia de los conceptos básicos de la química con la ayuda de la historia y la filosofía de la química, es posible diseñar actividades y materiales didácticos que comiencen facilitando a los alumnos el uso sus ideas intuitivas, mediante un lenguaje cercano al suyo y que la formalización se vaya construyendo como un paso necesario para enfrentarse a situaciones más complejas, una vez que estén más familiarizados con la manera de hacer y de pensar de la química. *“Esta ‘idea’ es la que se repite, una y otra vez, al trabajar diferentes ‘Hechos’ hasta que se conviertan, todos ellos, en ‘Modelos’ del Cambio Químico”* (Izquierdo-Aymerich 2014, p. 26).

Si *“La gran pregunta de la química: ¿por qué reaccionan las sustancias? Recibe, en el sistema periódico, una primera respuesta, que se responderá con la emergencia de la termodinámica química...”* (Izquierdo-Aymerich 2014, p. 21), y por lo tanto puede considerarse como uno de los hitos que contestan a la pregunta 'qué es la química' formulada con intención didáctica, entonces es importante referirnos a algunas consideraciones históricas y filosóficas sobre el tema para acabar de contextualizar la importancia de la tabla periódica en la química escolar y acabar de sentar las bases teóricas para nuestra investigación.

2.3 La tabla periódica de masas y la tabla periódica de números atómicos

Lo que despierta mayor admiración sobre la figura de Dimitri Mendeleiev, es el hecho de haber sido capaz de reunir en una sola tabla los eslabones elementales que componen el universo (Bensaude-Vincent 1991), pero pocas veces se analiza o cuestiona cuál era, según Mendeleiev y otros científicos del momento, la naturaleza de tales eslabones; raras veces se muestra cómo el referente de la expresión "elemento químico" era, había sido, y sigue siendo aun, objeto de acalorados debates defendidos desde diversas posiciones ideológicas, que suelen omitirse en pro de una ciencia completamente objetiva y lógico-positivista, especialmente en los libros de texto (Lemke 1997). La narración de los hechos y pensamientos que llevaron al descubrimiento genial de Mendeleiev suele mostrarlos como ejemplo para un modelo determinado de progreso de la ciencia, como paradigma del

método científico positivista, completamente racional, que se adelanta a la experiencia (Bensaude-Vincent 1991). Se nos muestra cómo, con una mente brillante y muy observadora, Mendeleiev pudo recoger la limitada información disponible en el momento de sus investigaciones, ordenarla, encontrar impresionantes generalizaciones y con ellas predecir casi de manera profética algunos hechos que harían parte de futuros descubrimientos y que corroborarían sus predicciones.

Posteriormente, en un “relato” que suele ser corto y simple, se describen los “fallos” de la ley periódica formulada en términos de masas atómicas y se presenta el enunciado de ésta en términos de números atómicos. Generalmente, cuando se presenta la tabla periódica en los libros de texto, ya se ha tratado en capítulos anteriores el concepto de elemento; o según el nivel escolar, a veces no se trata el concepto porque ya se asume que es conocido y comprendido. En cualquier caso, tanto al presentar la tabla que representa la ley periódica en términos de masas como la tabla que representa la ley periódica en términos de números atómicos, lo más frecuente es encontrar un tratamiento polisémico del término “elemento” (Linares 2004). Es frecuente encontrar, por ejemplo, que el texto se refiere a los “elementos” que ordenó Mendeleiev, y pocas páginas más adelante, se refiere a “la configuración electrónica de un elemento”. Este espacio de pocas páginas representa un salto epistemológico y ontológico abismal, que también está relacionado (y no siempre se especifica) con el cambio abrupto entre el criterio de ordenación que usaron los químicos del siglo XIX (que en el análisis llamaremos *tabla periódica de masas*) y el criterio de ordenación por número atómico del siglo XX, que configura lo que los libros suelen llamar “tabla periódica moderna” o “actual” (que en el análisis llamaremos *tabla periódica de números atómicos*).

En el análisis nos fijaremos en este “espacio” de pocas páginas (y pocas décadas pero claramente convulso para el sistema periódico) porque, como explicaremos, la forma en que se trata ese paso de un criterio al otro, de una tabla periódica a la otra, es significativamente importante, no sólo en la concepción de elemento que comunican los libros de texto, sino también en la función didáctica que se le otorga a la tabla periódica; y, como hipótesis, también creemos que es importante en la propagación de la idea de que el objetivo de la química es el estudio del átomo más que el estudio de las intervenciones sobre los cambios.

2.3.1 El “elemento” de Mendeleiev y la TP de masas

Es importante resaltar, antes de tratar la visión de elemento que sustenta el sistema periódico de Mendeleiev, que lo esencial es que los hechos y los contextos del descubrimiento del sistema periódico y la elaboración de inscripciones maduras que lo representan (fórmulas, tablas, espirales y otros esquemas gráficos) no fue tan simple como se suele contar en los libros de texto.

Además de señalar la complejidad del desarrollo del sistema periódico, nos interesa destacar la concepción de elemento químico que defendía Mendeleiev por la gran importancia que tuvo en este proceso. Sus ideas filosóficas son el corazón del sistema periódico y podrían dar respuestas, aún desconocidas, a preguntas como por qué otros precursores del sistema, no se atrevieron a hacer predicciones tan sólidamente fundamentadas como las suyas, pero también que éste no fue el único mérito; e incluso, tampoco el más importante (Scerri 2007).

Ante la pregunta sobre la permanencia de los elementos en un compuesto, Mendeleiev apelaba a la escuela aristotélica según la cual el elemento, aunque inmaterial, es portador de propiedades y al mismo tiempo responsable de las características observables.

A partir de la propuesta operacional de Lavoisier y el consecuente alejamiento de la concepción abstracta, se hacía énfasis en la precaución de identificar elementos sólo con sustancias simples que pudieran aislarse, y los científicos eran conscientes de que una sustancia considerada simple podría ser, posteriormente, identificada como un compuesto si lograban descomponerla. Resultaba entonces que a cada elemento no le correspondía necesariamente una sustancia simple particular que pudiera ser aislada experimentalmente.

Pero a principios el siglo XIX empezaba a desdibujarse la diferencia entre ambos niveles y a olvidarse el ente abstracto. Es en esta diferencia en la que insiste Mendeleiev, abanderando la idea de que las sustancias simples no sobreviven en el compuesto y sólo permanecen los elementos abstractos que son los responsables de las propiedades observables, tanto de los cuerpos simples como de los compuestos (Scerri 2007).

En la época de los descubrimientos del sistema periódico podría hablarse de tres conceptos esenciales de elemento como ente abstracto: el elemento como portador de propiedades de

la tradición Aristotélica, el elemento como ingrediente material indestructible de acuerdo con la ley de Lavoisier de conservación de la materia y el elemento como entidad no observable, a diferencia de las sustancias simples que sí lo son. Mendeleiev concebía firmemente un átomo químico individual que permitía hacer la diferencia entre sustancia simple y elemento químico. Desde el inicio del primer volumen de su libro de texto empieza a insistir en esta diferencia. Citado por Scerri (2007; p. 115), Mendeleiev afirma que:

“It is useful in this sense to make a clear distinction between the conception of an element as a separate homogeneous substance, and as a material but invisible part of a compound. Mercury oxide does not contain two simple bodies, a gas and a metal, but two elements, mercury and oxygen, which, when free, are a gas and a metal. Neither mercury as a metal nor oxygen as a gas is contained in mercury oxide; it only contains the substance of the elements, just as steam only contains the substance of ice, but not ice self, or as corn contains the substance of the seed but not the seed self.”

Igualmente empieza su artículo de 1971 (“*La regularitat periòdica dels elements químics*”) con la siguiente afirmación, insistiendo en la dificultad de diferenciar los dos conceptos (Mendeléiev 2008, p. 9):

“Així com, amb l'excepció de Laurent i Gerhardt, les denominacions molècula, àtom i equivalent s'usen indistintament, de la mateixa manera, actualment, el concepte de cos simple es confon amb el de element; aquests conceptes són difícils de diferenciar, cosa que evitaria confusions en les idees químiques.

Un cos simple és quelcom material, metall o semimetall, dotat de propietats físiques y capacitat de reacció química. Al concepte de cos simple correspon la molècula formada per un àtom (p.e., Hg, Cd, i, probablement, molts altres cossos simples) o per un nombre més gran d'àtoms (S₂, S₆, C₂, H₂, Cl₂, P₄, etc.). El mateix cos simple pot presentar-se en modificacions isomèriques i polimèriques i es distingeix dels cossos compostos només per l'homogeneïtat dels seus components materials. Per contra, cal designar amb el terme elements els components materials dels cossos simples i dels compostos, que determinen el comportament físic i químic d'aquests. A l'element li correspon el concepte de àtom. Així el carboni és un element, mentre que el carbó, el grafit i el diamant són cossos simples.”

Para Mendeleiev, en palabras de Scerri (2007, p. 115) “...the element was an entity, which was essentially unobservable but formed the inner essence of simple bodies.” Y en palabras de Izquierdo-Aymerich (Izquierdo-Aymerich 2002, p. 47) “...el elemento es ‘aquello’ que comparte la sustancia simple con todos sus compuestos; y su principal propiedad es la valencia...”. Un elemento particular es inmutable, mientras que el cuerpo simple correspondiente puede formar diferentes sustancias como en el caso del carbono al que alude Mendeleiev, considerando el elemento como el portador de propiedades de la tradición filosófica antigua.

Mendeleiev reconoce que así como el elemento es lo único que permanece en la formación de un compuesto en términos cualitativos, es la masa atómica lo único que permanece en

términos cuantitativos. Relacionando estas dos características, tenemos que la masa atómica es lo que caracteriza a un elemento y con ello, como entidad abstracta, éste adquiere un atributo cuantitativo que permanece inmutable en toda combinación química, lo que se convierte en una sólida justificación para usar la masa atómica como criterio de ordenación de los elementos.

Aunque algunos descubridores del sistema periódico utilizaron el mismo criterio, no mostraban argumentos teóricos tan sólidos. Mendeleiev, dándose cuenta de que era la masa atómica, y no la valencia, la clave para la clasificación, pudo comparar elementos químicamente diferentes; es decir, en palabras actuales, pudo comparar elementos de un mismo periodo.

Hemos visto que otros científicos también hicieron predicciones, pero es claro que Mendeleiev fue más lejos. No sólo predijo exitosamente la existencia de elementos no conocidos, sino que logró corregir masas atómicas de elementos conocidos e invertir correctamente la posición del yodo y el telurio de acuerdo con sus características químicas, convencido aún de que había un error en la medida de sus masas atómicas. La gran ventaja de Mendeleiev sobre otros contemporáneos está en la solidez de su enfoque filosófico (Bensaude-Vincent 1991).

El elemento está más allá de la observación y debe mantener sus atributos independientemente de la forma que adquiriera como sustancia simple. Es esto precisamente lo que puede dar respuesta, en el contexto de la química de aquella época, a la pregunta fundamental que se planteaban ya los antiguos griegos acerca de qué es lo que permanece en los cambios. Elementos como los halógenos, por ejemplo, tienen presentaciones muy diferentes si se estudian como sustancias simples (dos gases: el flúor y el cloro; un líquido: el bromo; y un sólido: el yodo); en cambio, son similares si se estudian los compuestos que forman con los metales alcalinos, que son cristalinos y de color blanco.

Para hacer sus predicciones Mendeleiev se apoyó en una postura filosófica que estaba claramente en contra de la reducción de la materia a una única sustancia primordial como sugería la hipótesis de Prout (Bensaude-Vincent 1991). En 1902, cuando visitó el laboratorio de los Curie para conocer sus estudios sobre radiactividad, Mendeleiev todavía consideraba el átomo indestructible y los elementos químicos netamente individuales, y

asumía las radiaciones y los electrones como “... *un espejismo de fantasías alquimistas y un pretexto para iniciar una nueva ofensiva oscurantista*” (Bensaude-Vincent 1991, p. 504). Además, denigraba fuertemente de la posibilidad de cualquier tipo de transmutación e intentaba explicar la radioactividad apelando al éter, cuyo comportamiento podría modificarse en presencia de átomos pesados (uranio, torio, polonio...) que, según un esquema análogo al planetario “...*podrían actuar como pequeños soles que atraen a todos los cuerpos de su alrededor*”. Así, el éter giraría en torno a tales átomos como un cometa, que después de caer dentro del sistema planetario “*se escapa de nuevo por el espacio*” (Bensaude-Vincent 1991, p. 505).

En este sentido, no podríamos ver a Mendeleiev como un precursor de la química del siglo XX, pues la atacaba con la fuerza de la lógica del siglo XIX, exigiéndole a la ley periódica toda la generalidad que para él correspondía a una ley científica, y la debían obedecer todos los elementos como entidades individuales. Esto se expresa claramente en el enunciado de la ley misma, con el que se cuida de ser muy preciso respecto a sobre qué entidades hace referencia cuando habla de la masa atómica y cuando habla de las propiedades químicas que se relacionan con ella. La masa atómica corresponde a los elementos y las demás propiedades a los cuerpos simples y compuestos. En su enunciado, citado por Bensaude-Vincent (1991, p. 516), puede leerse

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

Sin embargo, debido al énfasis en el peso atómico como criterio clave de ordenación de los elementos, Mendeleiev sí puede considerarse en otro sentido como un precursor del reduccionismo de la química de los años 1920 y 1930, un reduccionismo en el sentido de asignar gran importancia a las propiedades físicas de los elementos, pero no en el de reducir todas las sustancias a una materia primordial. En otras palabras, podría considerarse pionero de un reduccionismo epistemológico pero no de un reduccionismo ontológico de la materia.

El enfoque filosófico de Mendeleiev correspondía a una posición intermedia entre realismo y reduccionismo. Con esta posición, señalando la distinción filosófica entre sustancias básicas (elementos abstractos) y sustancias simples, y al mismo tiempo resistiéndose a la tendencia de suponer una materia primordial, dejó su más importante legado tanto para la química como para una auténtica filosofía de la química (Scerri 2007).

Pero a pesar de la importancia del trabajo de Mendeleiev y la contundencia de algunos de los resultados que obtuvo, la aceptación de su ley en la comunidad científica no fue inmediata y este aspecto suele olvidarse en los libros de texto, no sólo en el caso de la ley periódica sino en la mayoría de las narraciones sobre avances científicos, en las que todo parece resultar a partir de una “inevitable” mejora del conocimiento científico con el transcurso de los tiempos (y de los experimentos), reforzando la idea simplista de progreso lineal de la ciencia.

Además de predicciones acertadas, como las del germanio, el galio y el escandio, hay que atribuirle a Mendeleiev el esfuerzo incasable que tuvo que hacer para promover su sistema y mostrar su validez. Aunque la historia popular suele darle principal importancia al éxito de las predicciones, es importante aclarar que para diversos filósofos e historiadores es debatible que este factor haya sido el más importante; pues también lo fueron la corrección de algunas masas atómicas de elementos conocidos, la capacidad explicativa de la ley para hechos ya conocidos en cuanto a la ordenación de los elementos, y el esfuerzo “publicitario” que mencionábamos antes, que fue toda una lucha contra detractores, no sólo de la ley periódica misma sino también del enfoque filosófico que la sustenta. (Akeroyd 2003; Barnes 2005; Brush 2007).

Era tal la fe de Mendeleiev en su idea, que adhiere “*la naturaleza de los individuos elementales*” a los otros dos “*objetos que, [para Kant] provocan admiración y veneración de los hombres: la ley moral en nuestro interior y el cielo estelar por encima de nosotros.*” (Bensaude-Vincent 1991, p. 515). Con este argumento, entre otros, erige la ley periódica como vencedora sobre la ley de Prout y su carácter aritmético.

2.3.2 La TP de números atómicos

El contexto de la ciencia en el inicio del siglo XX presenta un panorama completamente distinto a aquel en el que, medio siglo antes, se había planteado el sistema periódico. El descubrimiento de la radioactividad, el surgimiento de los modelos atómicos por parte de la física, todos los adelantos en tecnología de la investigación química, entre muchas otras cosas, convergieron en un principio de siglo bastante intenso, especialmente para el sistema periódico y su relación con la naturaleza de la materia.

El descubrimiento de una gran cantidad de isótopos hacía pensar en la posibilidad de que existieran muchos más tipos de “átomos” de un mismo elemento de los ya conocidos y esto representaba un peligro para el sistema periódico tal como estaba planteado; incluso algunos químicos sugerían abandonarlo y adoptar otro que le diera un lugar separado a cada uno de los isótopos (Labarca y Zambon 2013). La radioactividad atentaba contra la inmutabilidad del átomo y todo el trabajo de la física, que se volcó hacia la tarea de conocer la estructura atómica, tuvo una gran influencia sobre la química.

Se vislumbraba esperanzadoramente que el descubrimiento del número atómico y de los isótopos podrían tal vez resolver muchas de las dudas que aún planteaba el sistema periódico. La hipótesis de Prout adquiriría otra vez sentido, pues la numeración ordinal asociada a lo que luego se llamaría protón, sugería firmemente que todos los elementos podrían ser múltiplos de una unidad de número atómico.

Fue entonces en ese contexto que se hizo la modificación más clara del sistema periódico desde que, cien años antes, Döbereiner propuso sus triadas. Así como Mendeleiev suele llevarse las principales menciones en la formulación del sistema periódico, es Henry Moseley quien suele llevárselas en cuanto a la modificación que sufrió este sistema cuando se estableció el número atómico como criterio de ordenación que pudo llevarse a cabo principalmente con el apoyo de cuatro descubrimientos que obviamente no se habían hecho en 1869: los rayos-X, la radioactividad, el número atómico y los isótopos.

Moseley publicó dos breves artículos en los que establecía que el número atómico representaba un principio de ordenación de los elementos más importante que la masa atómica. Había realizado un primer experimento con 14 elementos, y con los resultados que obtuvo descubrió la famosa relación entre la frecuencia de las líneas espectrales de cada elemento y el cuadrado de un número entero que representa sus posiciones sucesivas en la tabla periódica. Al descubrir este número entero que se incrementaba a intervalos regulares, Moseley lo identificó rápidamente como la carga positiva del núcleo del átomo: el número atómico que había descubierto Antón van den Broek y que suele atribuirse a Ernest Rutherford y Charles Barkla (Scerri 2007).

Rutherford había sugerido varias explicaciones para la naturaleza de las partículas alfa, una de las cuales fue el punto de partida de van der Broek para su primer artículo, publicado en 1907, titulado “*The alpha particle and the Periodic System of the elements*”. La explicación de Rutherford tomada por van der Broek consistía en que aquella partícula correspondía a medio átomo de helio con carga eléctrica +1 (van der Broek la llamó alfón) y cumplía el mismo papel del átomo de hidrógeno en la teoría de Prout, pero aportando dos unidades de masa atómica.

En 1907 van der Broek publicó una tabla periódica que representaba un sistema y que contenía 41 espacios para elementos no descubiertos aún y una secuencia con incremento de dos en dos para el peso atómico. En 1911 publicó otro artículo en el que sugería un intento de interpretación tridimensional de la tabla y en el que desaparecía la idea de alfón, pero se mantenía la secuencia de pesos atómicos de dos en dos. En el mismo año escribió una carta a la revista *Nature* en la que se anticipaba al concepto de número atómico. En ella sugería que como la carga nuclear de un átomo era la mitad de su peso atómico, y éste incrementaba de dos en dos para elementos sucesivos, entonces la carga nuclear definía la posición de un elemento en la tabla periódica. Posteriormente, en 1913, con otra breve publicación en *Nature*, van der Broek dio un paso más conectando explícitamente el número serial, que Rutherford posteriormente acuñó con el nombre de “número atómico”, con la carga del núcleo y desligándolo de la masa atómica.

Como científico amateur y con un gran conocimiento de la tabla periódica de Mendeleiev, van der Broek había logrado descubrir aquel número ordinal asociado con cada elemento, sugerido ya por algunos investigadores como Newlands, que luego sería identificado con la carga nuclear y con el número de electrones en cualquier átomo neutro (Scerri 2007)

Volviendo a Moseley, tres años después del primero de sus famosos artículos, en 1914, en una segunda publicación, reportó las mismas medidas que había hecho antes, pero ahora para treinta elementos más. Posteriormente aplicó su trabajo para resolver algunas dudas sobre posibles nuevos elementos, más o menos 70, que habían sido propuestos para ocupar los 16 espacios de la tabla periódica de Mendeleiev. A pesar de la efectividad del método de los números atómicos de Moseley para identificar y ordenar los elementos, las nuevas acomodaciones no estuvieron exentas de debate y algunas cuestiones no se pudieron resolver hasta después de su temprana muerte en la Primera Guerra Mundial. Tal vez esta

muerte prematura le ha dado a Moseley un matiz de mártir de la ciencia y eso ha contribuido a que en los libros de texto y en algunos detallados estudios históricos se le asigne un protagonismo heroico, simplista y sobrevalorado.

En su momento, los trabajos de Moseley y van der Broek reavivaron ideas filosóficas sobre la unidad de la materia y la hipótesis de Prout, contra las que el mismo Mendeleiev había debatido duramente, y que se convirtieron en claros ejemplos del poder de la física en cuanto a la reducción del campo de la química. La explicación más profunda de la ley periódica seguía siendo un gran incentivo para la investigación relacionada con la estructura interna de la materia, y el comienzo del siglo XX se caracterizó por grandes avances en esta dirección como ya es bien conocido. Pero no puede decirse lo mismo de las más importantes ideas de Mendeleiev en cuanto a su postura filosófica. El auge de la física y los debates sobre el realismo del átomo y sus partículas, sobre el carácter dual de los electrones y de la luz, así como el triunfo de la hipótesis de Prout, mantuvieron adormecido el interés por la pregunta sobre el concepto de elemento químico y fue el átomo físico el que adquirió el papel protagónico durante gran parte del siglo XX.

En 1913, Friedrich Paneth (2003), publicó un influyente artículo, en el que argumentaba que los primeros químicos, incluido Mendeleiev, emplearon dos conceptos distintos de elemento: “the simple substance” (traducción del alemán original “einfacher Stoff”), que es el concepto de un elemento como sustancia observable con propiedades físicas y químicas, y “the basic substance” (traducción del alemán original Grundstoff) que es el concepto de un elemento como principio que está en la composición de un material, pero que no puede ser observado como tal. Según Sharlow (2006), Paneth señaló que esta distinción, rescatada de químicos contemporáneos a Mendeleiev, y que era necesaria para la comprensión del concepto de elemento, había desaparecido de los libros de texto y que durante el final del siglo XIX y principios del XX se había vuelto a usar el término para referirse a las sustancias simples solamente. Para algunos autores, incluso, fue Paneth quien salvó al sistema periódico de “la crisis de los isótopos” (Labarca y Zambon 2013). De hecho, algunos libros de texto, incluso de bachillerato, adjudican el nombre de Paneth al “Sistema Periódico Actual”, junto con el de Alfred Werner (Ruiz et al. 1996; Pozas et al. 2009).

En la revisión que hace en su tesis doctoral de la revista *Journal of Chemical Education*, Linares (2004, p. 46), cita un artículo publicado por B. N. Menshutkin (1937), en el que

recordando la diferencia que estableció Mendeleiev y basado en las resoluciones de la IUPAC de 1923, define el elemento químico, de la manera siguiente:

“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.”

Menschutkin era consciente de la confusión que persistía en la mayoría de los químicos en cuanto a elemento, sustancia simple, principio, etc... y afirmaba que el sistema periódico de Mendeleiev había sido planteado como un sistema de principios y no de sustancias simples (Linares 2004). Como hemos insistido, la confusión alrededor del concepto de elemento sigue presentándose actualmente entre profesores y libros de texto, pues se suelen utilizar híbridos de las definiciones y de manera descontextualizada.

La polisemia alrededor de estos términos puede deberse en gran medida a que los lenguajes de la química “...describen objetos en escalas espaciales muy diferentes.” (Linares 2004, p. 51). Y según Schmidt (2000), esto sucede con muchos de los conceptos químicos que han cambiado en el tiempo, y cuyo cambio sigue el patrón de pasar de una visión anterior, macro, a la actual, micro. La evolución histórica que ha tenido el concepto de elemento, junto con la del modelo atómico, ha dejado secuelas en la confusión entre el lenguaje macroscópico (en el que se basó la tabla de Mendeleiev y con el que se describen las propiedades de las sustancias) y el lenguaje sub-microscópico con el que se describen las características del átomo. En las tablas periódicas actuales se reúnen criterios de ambos lenguajes de manera promiscua y esto es fuente de confusión.

Si se utiliza solamente el lenguaje sub-microscópico, la clasificación periódica a la que se alude sería de átomos y no de elementos. “Para traducirlo al macrolenguaje...” en palabras de Linares (2004, p. 52):

“...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 elementos dada anteriormente [definición de la UIPAC en 1923 señalada por Menschutkin citada líneas más arriba]”

De acuerdo con Linares, se puede hacer una analogía de elemento con el concepto de especie biológica. Una especie caracteriza a un conjunto de individuos con la misma información genética, pero cada individuo es particularmente diferente de los demás. De la

misma manera el elemento reúne un conjunto de átomos con el mismo número atómico pero que no necesariamente son idénticos entre sí.

Las anteriores dificultades que presenta el uso del lenguaje y las diversas posturas filosóficas relacionadas con elemento, átomo y sustancia simple son aspectos relevantes en la filosofía de la química, especialmente en cuanto al problema de la naturaleza de la materia y la naturaleza de las definiciones y modelos con los que la describen los científicos y, por supuesto, los profesores y los libros de texto.

2.4 Los libros de texto, su carácter retórico y su dimensión narrativa

A pesar de los cambios que ha experimentado la clase como escenario de la actividad escolar durante las últimas décadas, tanto en relación con el rol de los profesores y de los alumnos como en relación con los currículos y los medios tecnológicos, llama la atención la permanencia omnipresente del libro de texto, que ha resistido a todos estos cambios (Marzàbal 2010).

Con todas las características que tienen, desfavorables si se usan de manera automática e irreflexiva, o potencialmente favorables si se utilizan con sentido crítico, los libros de texto tradicionales continúan jugando un papel fundamental en los sistemas educativos de los países occidentales. Concretamente, en España, a menudo se dejan de lado otros tipos de materiales curriculares porque se suele identificar “material curricular” con “libro de texto” (del Carmen y Jiménez 2010).

De hecho, en muchas partes del mundo, el libro de texto es el único recurso para el profesor y se convierte en “el” plan de estudios propiamente dicho, de tal manera que determina ampliamente lo que se enseña (y lo que no se enseña), y lo que se aprende (Niaz y Maza 2011).

Al mantenerse como recurso didáctico mientras han cambiado tantas cosas, el libro de texto ha tenido que acomodarse sucesivamente a profundas y a veces erráticas reformas educativas; y con ellas, pretendidamente más focalizadas en los contenidos “pedagógicos” que en los contenidos “científicos”, se ha visto avocado a modificaciones de aspectos más superfluos que profundos. Es cierto que aumentaron cosas como la cantidad y la calidad de

las ilustraciones, la cantidad de actividades intercaladas en el texto, las ayudas al profesor, las propuestas de autoevaluación, los recursos en internet; también es cierto que se simplificó el lenguaje, se incluyó más contenido socio-cultural, ambiental, histórico, etc.; en definitiva, se siguieron una serie de parámetros con el propósito de adoptar nuevos modelos pedagógicos y de orientar el trabajo y la evaluación hacia el desarrollo de “las competencias”. Pero en muchos casos el libro de texto todavía resulta un producto de la relación forzada entre las actividades de siempre y las competencias básicas; lo cual se agrava con el hecho de que las editoriales, que aspiran a obtener el máximo beneficio económico, pretenden que los autores “... creen productos de fácil consumo y producción, sin salirse demasiado de lo tradicional”. (Perales y Vilchez 2012, p. 77).

Es por todo esto que el libro de texto se ha mantenido en el foco de la investigación didáctica y se ha estudiado desde diversas perspectivas; algunas de las cuales, las más representativas, se han reportado en una revisión bibliográfica publicada en la revista *Enseñanza de las Ciencias*, en la cual las autoras clasifican 127 artículos publicados en revistas de impacto entre el 2000 y 2010, incluyendo un monográfico de 1997 de la revista *Alambique*. Los han clasificado en cuatro categorías de acuerdo con su estructura: los que están centrados en el *contenido científico*, los centrados en el *contenido didáctico*, los artículos sobre *validaciones metodológicas* y los de *revisiones teóricas* (Ocelli y Valeiras 2013).

De las conclusiones de esta revisión nos interesa resaltar algunas ideas relacionadas con la investigación que nos ocupa y que nos ayudarán a contextualizarla:

En primer lugar, nos parece importante resaltar que, en general, los estudios sobre el *contenido científico* coinciden en cuanto a que en los libros de texto...

“Los modelos se presentan de manera descontextualizada y se incluyen pocas argumentaciones, lo cual implica, por un lado, que el lector tendrá que inferir qué relación hay entre la realidad y la propuesta del modelo y, por otro, que el libro se posiciona como autoridad suficiente y acabada.”

Por lo tanto, las autoras sugieren que ...

“...sería interesante conocer qué estrategias utilizan los docentes en sus aulas para trabajar con estos materiales y, al mismo tiempo, presentar contenidos científicos flexibles y producto de un sistema de argumentos debidamente fundamentado.” (Ocelli y Valeiras 2013, p. 144)

También es interesante resaltar de este estudio que las investigaciones que analizan la “imagen de ciencia” no encuentran que los libros comuniquen una idea de ciencia como actividad humana y grupal, sino más bien una ciencia en la que predomina...

“... la idea de acumulación lineal de conocimientos, el énfasis en el producto y no en el proceso de la actividad científica, la omisión del contexto y del marco teórico que orientan a los científicos y la promoción de una visión positivista de la ciencia y de la percepción de la actividad científica como una empresa individual.”(Uccello and Valieras, 2013: 145)

2.4.1 Carácter retórico de los libros de texto

Teniendo en cuenta las características y los inconvenientes relacionados con el lenguaje de la ciencia que mencionábamos en el apartado 1.2, no es extraño que tales inconvenientes se hagan más evidentes en los libros de texto, pues en ellos sólo aparece el resultado final de varios procesos. El texto definitivo no sólo es resultado de todo lo relacionado con su producción, sino que es también un resultado de toda la historia, la controversia y los hechos que hay detrás de los conceptos que allí se explican, y que no pueden quedar reflejados completamente en un espacio reducido en el que se plasman conceptos ya consensuados por la comunidad científica. Por otra parte, es imposible conocer completamente los contextos de los lectores que se enfrentarán al libro, en los que habrá incontables diferencias que no pueden tenerse en cuenta.

Generalmente el contenido de los libros de texto es excesivamente condensado, pues en pocas palabras y símbolos se tiene que abarcar mucha información que queda empaquetada, con la pretensión de que el texto sea preciso y riguroso. Sin embargo en los niveles de ESO y bachillerato en los que nos centramos, cuanto más preciso y riguroso pretende ser un texto escrito, menos comunica y es más difícil de entender. El alumno no puede activar todo el conocimiento que hay empaquetado en el texto de la misma manera que lo hace un experto (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004).

La excesiva densidad de contenidos que aparece se refuerza con el énfasis que se hace en los símbolos, perdiendo de vista que el lenguaje sólo tiene sentido en relación con la acción; y sobretodo en este contexto de la enseñanza, uno de cuyos inconvenientes más reportados es que suele centrarse mayoritariamente en procedimientos y reglas sin utilidad práctica, sino puramente formales. Este énfasis excesivo en dichas reglas termina comunicando una falsa ciencia escolar y una falsa ciencia de los científicos, las cuales no es

de extrañar que resulten sin sentido para los alumnos, que sean poco gratificantes y que esto convierta en causa de desmotivación y fracaso escolar (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004).

El lenguaje excesivamente simbólico también hace que en los libros termine pesando más su formalidad que la voluntad de hacerlos comprensibles, con un lenguaje rígido e inapropiado para los lectores a los que va dirigido; un lenguaje que no relaciona los símbolos que usa con sus referentes, es decir, con los fenómenos del mundo y los experimentos. Se habla de las teorías que hemos construido sobre el mundo de tal manera que parece que éstas fueran los hechos mismos, y los alumnos, que esperan que se hable del mundo en el que viven, se encuentran con otro tipo de entidades y otro tipo de acciones. Esto no sólo les hace difícil la comprensión sino que, más grave aún, se les hace difícil darse cuenta de que no entienden. Así, los estudiantes sólo pueden, si es que llegan a hacerlo, memorizar una cantidad de información que no comprenden (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004).

Otra característica que encontramos en los libros de texto se debe a que muchos profesores y científicos que los escriben piensan que la retórica está relacionada sólo con un discurso vago y vacío, algo así como “forma sin fondo”, y que es ajena a la ciencia (Locke 1997). Algunos autores opinan que sus textos están desprovistos de retórica porque pretenden explicar las cosas tal como son, es decir, “*un reflex molt acurat i exacte de la pura realitat*” (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004, p. 178). Pero si entendemos la retórica como el uso del lenguaje para convencer, entonces cualquier texto científico, y con mayor razón un texto didáctico, utiliza elementos retóricos. La misma frialdad y aparente transparencia del discurso científico es parte de una estrategia retórica, consciente o inconsciente, que ha tenido éxito en convencernos de que la ciencia no usa la retórica (Locke 1997).

Los autores que creen no usar ninguna retórica terminan utilizando recursos que son dañinos para el aprendizaje de las ciencias, sobretudo en cuanto a la imagen de ciencia que comunican. Estos mecanismos retóricos se basan en una prosa sin agentes, en la que la voz pasiva, la nominalización de procesos y la cosificación de las cualidades nos deja un mensaje de ciencia deshumanizada, más abstracta de lo que es y descontextualizada (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004; Lemke 1997; Locke 1997). Acaban usando una retórica que informa de los resultados mas no del proceso de investigación con el que se

obtienen; o, cuando se explica un proceso, se hace de manera netamente axiomática, en términos de principios y leyes, en las que abundan estructuras lógicas que no favorecen la construcción de modelos mentales. Además, se usan palabras técnicas (como etiquetas) definidas en términos de otras palabras técnicas, resultando un lenguaje cerrado que no conecta con el mundo de los alumnos mediante sinónimos más cotidianos o coloquiales. En estos casos la ciencia, y su lenguaje, no parece salirse de la lógica formal y entonces aparece como si al usar pocos datos, “ella”, como entidad abstracta, puede sacar conclusiones inevitablemente lógicas, casi euclidianas (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004).

Particularmente en los libros de química, este énfasis en argumentos lógicos, formales, simbólicos y cuantitativos lleva a la tendencia de reducir toda explicación química a la supuesta lógica formal, cuantitativa, y aparentemente más explicativa de la mecánica cuántica, o en niveles inferiores, del átomo físico. Así, la pretensión de describir las cosas “como son” termina poniendo a la química en un lugar secundario respecto a la física por el carácter cualitativo de sus leyes (Erduran 2007).

Aunque los libros de texto se usen con el fin de presentar el mundo real como un mundo complejo, de manera que tenga sentido para el lector, que sea inteligible y dialéctico, con esta praxis que estamos describiendo se corre el peligro de suplantar al mundo real con el texto, en vez de presentar representaciones de éste (Izquierdo-Aymerich 2005a).

2.4.2 La dimensión narrativa de los libros de texto

La idea de que la ciencia es objetiva conduce muchas veces a la creencia de que el lenguaje científico no es retórico y que solamente se pueden explicar conceptos científicos de una manera lógica, negando también su dimensión narrativa. Esto se ve reflejado en los libros de texto y es posible identificar estructuras retóricas y relacionar sus intenciones comunicativas con la significación de los conceptos que explican. En esta línea, el grupo LIEC (Llenguatge i ensenyament de les ciències) de la Universitat Autònoma de Barcelona, ha realizado investigaciones en las cuales se ha descrito cómo, debido al contenido retórico de los textos, éstos pueden tratar contenidos similares y al mismo tiempo comunicar modelos diferentes. (Izquierdo-Aymerich 2005a; Izquierdo-Aymerich y Grupo de

profesores LIEC 2005; Agudelo 2008; Izquierdo-Aymerich, Márquez y Gouvea 2008; Agudelo, Marzábal y Izquierdo-Aymerich 2009; Marzábal 2010; Hernández 2011).

En estos trabajos se ha estudiado cómo quedan convertidos en texto escrito algunos aspectos como la actividad científica, los fenómenos y las evidencias, transformándose en modos semióticos textuales y/o visuales; y cómo de esta manera conectan los hechos con su explicación científica, dando así lugar a una narrativa experimental determinada que es coherente a pesar de la complejidad y heterogeneidad de los libros de texto (Marzábal 2010).

Considerando el carácter retórico de las narraciones científicas en general y de los informes experimentales en particular, se ha de tener en cuenta que el discurso científico es un discurso de poder (Cantor, citado por (Izquierdo-Aymerich y Aliberas 2004)); y cuando un autor expone los resultados de un experimento dejando a un lado las dudas y las incertidumbres para convencer al lector de sus afirmaciones, está ofreciendo una descripción idealizada de la realidad que comunica un realismo ingenuo, y para ello usa recursos literarios de dramatización como el papel de un vencedor y un perdedor, las grandes capacidades del vencedor y las debilidades del perdedor, etc.

Además, los tipos de retórica que reflejan un realismo ingenuo del conocimiento, un carácter empírico-positivista de la ciencia, que intentan persuadir al lector de que las conclusiones expuestas se deducen directamente de los datos, suelen comunicar también ideas de segregación entre científicos y no científicos, discriminaciones étnicas, de género, de religión, etc. (Lemke 1997).

Este tipo de retórica frecuentemente tiene gran éxito en convencer a los alumnos de que las asignaturas de ciencia son inherentemente más difíciles que otras, de tal manera que terminan creyendo que nunca las entenderán. O que los conocimientos científicos sólo lo usan las instancias de poder y no llegan a comprender que ciertos conocimientos y determinadas maneras de pensar razonablemente también son útiles para tomar decisiones cotidianas con sentido crítico, tanto en la vida propia como en la comunidad. Por ello esta retórica dominante no sólo desfavorece a la actitud de los alumnos hacia la ciencia en el momento de su formación, sino que también va en detrimento de la idea de que es

importante que todas las personas aprendamos ciencias independientemente de si nos dedicamos a ellas, o no, profesionalmente.

Todas estas características en los libros de texto van ayudando a consolidar un tipo de “mística” de la ciencia que, como dice Lemke: “...la enseñanza de las ciencias contribuye con demasiada frecuencia a fomentar” (1997, p. 141). Y gran parte de esa mística de la ciencia es heredada de lo que en tiempos del positivismo se consideraba ciencia y de lo que se consideraba aprender ciencias (Sutton 1992).

Concretamente en la enseñanza de la química, esta “mística” de la ciencia se ve reflejada en *“La posición dominante del currículo de química”* que “... a partir de la segunda guerra mundial ha devenido, prácticamente en todo el mundo...” (Chamizo 2013, p. 45). Este “currículo oculto”, que esconde una propuesta política de sumisión que es excluyente y que no está diseñado para enseñar a todas las personas sino a unos pocos privilegiados, ha sido extendido a través de muchos libros de texto, a pesar de unos pocos proyectos curriculares que han intentado relacionar de una manera explícita la química con la sociedad y con la vida cotidiana de los alumnos.

Con todo ello, en los libros de texto se deja de lado la dimensión narrativa del lenguaje, que junto con la dimensión lógica también debe desarrollarse en el lenguaje de los alumnos. El razonamiento lógico, relacionada con el pensamiento matemático, es necesario, y junto con el razonamiento narrativo favorecen el desarrollo de todas las disciplinas. La química no se limita a los cálculos; la química también trata de una “historia” en la cual intervienen personas que provocan cambios y que piensan sobre estos cambios, sobre sus consecuencias, su control y sus posibles usos. La dimensión narrativa del lenguaje acerca más a los estudiantes a esta “historia”, poniendo en contexto algo que tiene más sentido para ellos, para que puedan comprender y hacer propia la necesidad de estudiar los cambios y medirlos, de aprender a controlarlos. Si el razonamiento lógico ayuda a consolidar todo aquello que debe recordarse después de que la experiencia cualitativa haya pasado por el filtro de la matemática, el razonamiento narrativo aporta el “tempo” y le da sentido a las acciones (Izquierdo-Aymerich 2013).

Consideramos que en nuestro análisis de los libros de texto se han de tener en cuenta estas dos dimensiones.

Capítulo 3

La investigación e innovación didáctica en relación a la tabla periódica en artículos especializados. Análisis y conclusiones

En este capítulo presentamos una revisión bibliográfica sistemática, delimitada en un conjunto determinado de revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales y en didáctica de la química. El objetivo general de esta revisión es identificar los principales núcleos conceptuales relacionados con la tabla periódica (TP) y los elementos químicos (EQ), sobre los cuales se ha estado discutiendo durante los últimos 15 años en dichas revistas, e identificar su presencia en las propuestas didácticas que se han planteado en las mismas durante este período.

Una vez identificados los núcleos conceptuales y su presencia en las actividades didácticas que se han propuesto en las revistas de la muestra, hemos utilizado estos resultados en el diseño de un instrumento, que presentamos en el capítulo 4, para tomar y analizar los datos: un cuestionario para profesores y una plantilla de análisis para libros de texto que utilizamos para indagar sobre la presencia de los núcleos conceptuales, las diversas maneras de utilizar la TP y las funciones didácticas que puede cumplir en los niveles de ESO y bachillerato.

Aunque la revisión está planteada con el fin de responder la primera pregunta de investigación (PI1) y obtener la información que necesitamos para el diseño de un instrumento de recogida de datos, también la hemos configurado de tal manera que sirva como herramienta de consulta para profesores e investigadores en el ámbito de la tabla periódica y su enseñanza.

3.1 Objetivos de la revisión bibliográfica

Con el fin de identificar los núcleos conceptuales más importantes sobre la TP y los EQ presentes en la reflexión didáctica teórica y en las propuestas didácticas publicadas en las revistas de la muestra seleccionada (además de proporcionar una herramienta de consulta útil sobre la tabla periódica) nos hemos planteado los siguientes objetivos:

- Clasificar los artículos “teóricos” de la muestra según los núcleos conceptuales relacionados con la TP y los EQ que tienen mayor presencia.
- Clasificar los artículos de la muestra que presentan actividades didácticas concretas relacionadas con la TP y los EQ a partir de los núcleos conceptuales encontrados en los artículos “teóricos”.
- Clasificar los artículos de la muestra que presentan actividades didácticas concretas relacionadas con la TP y los EQ según el tipo de actividad que proponen.
-

3.2 Descripción de la muestra y método de análisis

Nuestro trabajo se enmarca en el paradigma metodológico interpretativo de la investigación educativa, teniendo en cuenta la clasificación y caracterización de paradigmas que hacen Lincoln y Guba (1985). Coherentemente con esta postura metodológica, para la recogida, el análisis y la interpretación de los datos hemos tenido en cuenta las principales premisas que estos autores señalan como características del paradigma: La realidad es diversa, el investigador interactúa con el objeto o sujeto de estudio, no se pretende hacer generalizaciones sino comprender las situaciones particulares, no se pretende identificar relaciones causa-efecto y los diversos aspectos de la investigación están influenciados ampliamente por el contexto.

Concretamente, al seleccionar y clasificar los artículos de la muestra e interpretar dicha clasificación, hemos llevado a cabo una técnica de análisis de contenido que, según la síntesis que hace Domènech-Calvet, a partir de las definiciones de diversos autores, se trata de una técnica que pretende analizar “... *un missatge amb l'objectiu d'interpretar-lo, és a dir, de trobar-ne el significat tenint en compte el context en el que s'ha creat*” (2014, p. 66). Esta técnica combina la visión cualitativa con la visión cuantitativa porque aunque en nuestra interpretación es importante la mayor o menor presencia de determinados núcleos teóricos, no tenemos en cuenta valores cuantitativos para extraer conclusiones.

Para seleccionar las revistas tuvimos en cuenta dos criterios principalmente: que fueran revistas de impacto representativas de la investigación en didáctica de las ciencias y en didáctica de la química; y que pudiéramos tener acceso electrónico a todos sus artículos por medio de la biblioteca de la *Universitat Autònoma de Barcelona*.

Las revistas seleccionadas se muestran en la siguiente tabla. La segunda y la tercera columna contienen, correspondientemente, el primer número revisado y el último (los números entre paréntesis corresponden al volumen, en los casos en que aplica). Todas las revistas se revisaron a partir del 2000 excepto las que aún no se publicaban en dicho año, las cuales se revisaron desde su primer número de publicación.

Revista	1r número revisado	Último número
Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales	2000, 23	2015, 79
Chemistry Education: Research and Practice	2000, (1)1	2014, (15)4
Educación Química	2000, 1	2015, 1
EduQ. Educació Química	2008, 1	2014, 17
Enseñanza de las Ciencias	2000, (18)1	2014, (32)3
International Journal of Science and Mathematics Education	2003, (1)1	2015 (13)1S.
International Journal of Science Education	2000, (22) 1	2015, (37) 3
Investigación en la Escuela	2000, 40	2012, 76
Journal of Chemical Education	2000, (77) 1	2015, (92) 2
Journal of College Science Teaching	2000, (29) 4	2015, (44) 3
Journal of Research in Science Teaching	2000, (37) 1	2015, (52) 3
Journal of Science Education and Technology	2000, (9) 1	2015, (24) 1
Journal of Science Teacher Education	2000,(11) 1	2015, (26) 2
Química Nova na escola	2000, (11)	2014, (36) 4
Research in Science Education	2000, (30) 1	2015, (45) 1
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	2003, (1) 1	2015, (14) 1
Revista Electrónica de Investigación en Educación de las ciencias	2006, (1) 1	2003, (8) 1
Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las ciencias	2004, (1) 1	2014, (11) 3
Science & Education	2000, (9) 1-2	2015, (24) 1-2
Science Education	2000, (84) 1	2015, (99) 2
Science Education International	2003, (14) 3	2014, (25) 4
Science Educator	2002, (11) 1	2014, (23) 1
Studies in Science Education	2000, (35) 1	2015, (51) 1
TED Tecné Episteme y Didaxis	2005, 17	2014, 35
Teaching Science	2004 (50) 4	2014 (60) 4

Tabla 1. Revistas consultadas

Para obtener una primera selección de los artículos hicimos una lectura de todos los títulos a partir del índice, sin motor de búsqueda, e identificamos todos los que tuvieran alguna relación con la TP y los EQ. A partir de la lectura de los artículos de la primera selección,

ampliamos la muestra con aquellos que están citados en los primeros, y son pertinentes respecto la TP y los EQ. Un ejemplo de esto, es el caso el texto de Schmidt (2000) cuyo título es: *Should chemistry lessons be intellectually challenging?* De la misma manera, descartamos algunos artículos que en principio nos habían interesado por el título y que posteriormente, al revisarlos, consideramos que no son pertinentes en esta investigación por estar dirigidos explícitamente al contexto universitario.

No hemos pretendido hacer una revisión exhaustiva del tema, y la forma de seleccionar los artículos, explícitamente subjetiva y limitada, lo demuestra. Ahora bien, la forma de selección que elegimos tiene algunas ventajas teniendo en cuenta los propósitos de esta investigación: la lectura detallada de todos los índices de las revistas permite detenerse en artículos que no serían detectados por un motor de búsqueda con determinadas palabras clave. En algunos casos, el título es sugerente y aunque no tenga las palabras clave buscadas, una mirada más completa lleva a tomar la decisión de seleccionarlo. Las desventajas son la gran cantidad de tiempo invertido y, por lo tanto, la poca cobertura; de ahí la decisión de limitarnos al acceso electrónico de la UAB.

Con esta selección establecimos la muestra de artículos cuya distribución que se muestra en la siguiente tabla, que muestra sólo las revistas con algún artículo seleccionado (tabla 2). Como se observa, la distribución de artículos por revista resultó bastante desigual.

Nombre de la revista	artículos
Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales	7
Chemistry Education: Research and Practice	8
Educación Química	46
EduQ (Educació Química)	11
Enseñanza de las Ciencias	9
International Journal of Science and Mathematics Education	3
International Journal of Science Education	1
Investigación en la Escuela	2
Journal of Chemical Education	121
Journal of Research in Science Teaching	2
Journal of Science Education and Technology	1
Química Nova na escola	7
Research in Science Education	1
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	1
Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las ciencias	3

Nombre de la revista	artículos
Science & Education	2
TED Tecné Episteme y Didaxis	2

Tabla 2. Distribución de los artículos seleccionados

Una vez leídos, reseñados y etiquetados, separamos los artículos en dos grupos y obtuvimos la primera división: los “*artículos teóricos*” y los “*artículos con propuestas*” (que hacen alguna propuesta concreta para la clase o presentan análisis de datos).

3.3 Clasificación de los artículos

A continuación describimos la clasificación en categorías emergentes en cada uno de los dos grupos. Aunque éstos dos grupos son excluyentes, las categorías dentro de cada uno no lo son porque hay trabajos que son importantes en más de una categoría. Cuando citamos un artículo en varias categorías, señalamos los aspectos que no han llevado a considerarlo integrante de cada una de ellas. Con esto pretendemos que la clasificación sea una ayuda útil de consulta para profesores e investigadores, como lo hemos dicho antes.

3.3.1 Artículos teóricos

El primer grupo de artículos, que hemos llamado “*artículos teóricos*”, los clasificamos en 6 categorías según los núcleos conceptuales más importantes: el concepto de elemento químico (EQ), el formato de la tabla periódica (FTP), la explicación de la periodicidad (EP), el desarrollo y la aceptación del sistema periódico (DA), las características de un elemento específico (EE), y una propiedad periódica particular (PP). A su vez, estas categorías está subdividida en otras que describimos en cada caso. Cada artículo está marcado con un código numérico en orden alfabético de autor (ver anexo 1).

1 Concepto de elemento químico

Los artículos que abordan el concepto de EQ están divididos en dos: aquellos en los que es el objetivo central del texto y aquellos en los que es un objetivo importante pero periférico. Entre estos últimos encontramos algunos que abordan el carácter dual del concepto y algunos que lo abordan desde otras perspectivas.

1.1. Objetivo. Central		E75, E109, E140, E143
1.2. Objetivo. Periférico	1.2.1. Carácter dual	E169, E171, E172, E173
	1.2.2. Otros	E60, E103, E129, E180

Tabla 3. El concepto de elemento

1.1 El concepto de elemento químico como objetivo central

Tres de los cuatro artículos describen aspectos sobre la evolución del concepto y resaltan sus implicaciones didácticas: en E143 se resalta la capacidad de abstracción necesaria para su comprensión; en E75 se advierte de las confusiones lingüísticas debidas a las diversas definiciones y se propone una; en E109 se presenta una conceptualización alternativa de elemento para proponer un formato de tabla periódica; y en E140 se proponen definiciones de *elemento* y *sustancia simple*.

En E143, Oki (2002) lo presenta como uno de los conceptos estructuradores de la química. Hace un estudio histórico y epistemológico que comienza desde los pensadores presocráticos y su explicación para los cambios naturales; pasa por las concepciones dualistas de los alquimistas árabes, por la concepción de Boyle como límite del análisis químico que adoptó Lavoisier para construir la nomenclatura y por la confusión entre cuerpo simple y elemento que aclaró Mendeleiev con su concepción abstracta. Plantea el debate alrededor de la masa atómica y del peso equivalente, la importancia del congreso de Karlsruhe y la diferenciación entre átomo y molécula. Repasa algunos sucesos fundamentales del siglo XX en la construcción del concepto, como las contribuciones de Frederick Soddy (1877 – 1956) que acuñó el término *isótopo* en 1913, los trabajos con espectrómetro de masas de Francis William Aston (1877 – 1945) que aportó evidencia de la aplicación del concepto de isótopo a todos los elementos, etc. De esta manera, Oki enseña la relación que se fue tejiendo entre química y física, con la mediación de los instrumentos (como teoría materializada según Bachelard), que llevó a la formulación de las nuevas propiedades elementales teniendo en cuenta las partículas que se iban descubriendo. Finalmente, resalta la naturaleza multidisciplinar de la química, ejemplificada en la evolución del concepto de elemento, nos recuerda la provisionalidad de los conceptos y que éste, concretamente, establece un vínculo entre lo que se observa y lo que se imagina; por lo cual, comprenderlo requiere gran capacidad de abstracción.

En E75, Ghibaudi et al. (2013) hacen un recorrido histórico del concepto, comenzando en la antigüedad y deteniéndose en el siglo XIX, para tratar el papel de la concepción abstracta de Mendeleiev en la formulación del sistema periódico. Al pasar al siglo XX, se trata la definición de Friedrich Paneth que los autores comparan con la de Mendeleiev por mantener el carácter formal, diferenciando entre *sustancia simple* y *básica*. Se cita la definición de la IUPAC (2006) y la crítica de Nelson (2003) a ésta porque mantiene la confusión lingüística y obliga a los estudiantes a abordar el tema desde el nivel microscópico. Se formulan diversas definiciones (del mismo Nelson, de Roundy, de Luft) con sus respectivos aciertos y desaciertos según el autor y se acepta la de Jensen (1998) porque es simple, porque no es ambigua y porque resalta el carácter formal y sistémico, que fue la premisa esencial para la clasificación periódica. Esta definición, citada por Ghibaudi et al., considera que un elemento es una “...*class of nuclei with the same atomic number*” (2013, p. 1629). Finalmente, advierten que en la enseñanza se debe evitar la ambigüedad causada por el uso de una misma palabra para una *clase de núcleo* y para una *sustancia simple* y por la costumbre de asignar corporeidad al concepto de elemento. En definitiva, un elemento es un nombre, un símbolo, un número atómico y una posición en la TP, y no exhibe propiedades macroscópicas.

Con el doble objetivo de proponer una conceptualización de elemento y una representación del sistema periódico basada en ella, en E109 (Labarca y Zambon 2013), se hace énfasis en la parte abstracta del concepto dual definido por Mendeleiev, que retomó Paneth, para reivindicar el sistema periódico durante “*la crisis de los isótopos*” al principio del siglo XX. La propuesta se basa en que existe un número máximo y un número mínimo de neutrones que permiten la estabilidad de un núcleo con una cantidad de protones determinada, lo cual permite definir el *intervalo de masas límite* del elemento. Tanto el isótopo más liviano (L) como el más pesado (P) constituyen propiedades representativas del elemento como sustancia básica. Un elemento “... *es una cierta clase de entidad que consta de una sustancia básica y que tiene dos propiedades representativas, el número atómico y los números másicos límites, y que, a su vez, puede tener propiedades contingentes que varían de caso a caso.*” (2013, p. 65). Según los autores, esta idea remite indirectamente a Aristóteles: los números atómico y másico de cada isótopo se relacionan con el “*acto*”, lo que el elemento ‘*es siempre*’, mientras que las masas atómicas límite se relacionan con la “*potencia*”, lo que el elemento ‘*fue o puede*

ser'. Con base en este concepto de elemento se propone un formato de tabla periódica al cual nos remitiremos más adelante.

Nelson (2006) responde en E140 a la crítica que le hacía un corresponsal (Dr. Daniel K.C. Tan) por la definición de elemento que había publicado tres años atrás, en un recuento de definiciones formuladas en términos macroscópicos para facilitar su comprensión a los principiantes. En aquel trabajo se definía elemento como: "... a substance that does not undergo chemical decomposition into, and cannot be made by chemical combination of, other substances" (Nelson 2003, p. 22). Su debilidad era descuidar el fenómeno de la alotropía. En el presente artículo, el autor revisa tres definiciones: sustancia elemental es "... a substance that does not undergo chemical decomposition into, and cannot be made by chemical combination of, other substance", que no estaba en el texto de 2003 y que es idéntica a la que en él se refería a elemento; elemento es una "... basic type of matter existing as elementary substances that can be interconverted without change in mass"; y alotropía es la "... existence of an element as more than one solid, liquid, or gaseous substance, or in more than one crystalline form". El autor propone esta definición para cursos en los que se introduce la química con el nivel macroscópico; y en el nivel atómico y subatómico, sugiere la referencia a los átomo con igual carga nuclear.

1.2 El concepto de elemento químico como objetivo periférico

Los siguientes artículos, que abordan el concepto de elemento químico como objetivo periférico, se dividen en dos grupos: los que tratan el carácter dual y los que lo abordan desde otras perspectivas.

1.2.1 Carácter dual del concepto de elemento químico

Scerri (2000b), en E171, plantea diversos aspectos para mostrar la conexión entre la química y la filosofía, dando algunas respuestas a la pregunta del título: "*Philosophy of Chemistry – A New Interdisciplinary Field?*". Entre otras cuestiones, trata el reduccionismo, las leyes, los modelos, las explicaciones en química, el realismo ingenuo, etc.; así como algunas implicaciones en la enseñanza. En esta categoría resaltamos el apartado "*Where is Naive Realism Inappropriate?*" (2000b, p. 524), donde se cita la visión de Paneth de elemento químico como entidad abstracta, inobservable y portadora de propiedades: la idea de *sustancia básica* más que la de *sustancia simple*. El autor señala que Paneth sugería a los

profesores que abandonaran la idea realista de que los elementos están en los compuestos que forman.

En E172 y E173, el mismo autor (Scerri 2008a, 2008b) trata el concepto de EQ para abordar la cuestión del FTP, al cual volveremos más adelante. En esta categoría resaltamos que se trata el uso de la idea dual de EQ y la utilidad que tuvo para Mendeleiev. En E172, Scerri presenta una introducción de su propuesta de TP, sustentada por la concepción abstracta de elemento y el concepto de triada. En E173 explica el formato que propone, partiendo de la tabla que había publicado Charles Janet (Stewart 2010), comúnmente llamada “forma *left-step*” o “*de escalón izquierdo*” (LS). De la forma LS, Scerri critica la pérdida de una triada (helio, el neón, y el argón), por la colocación del helio con los alcalinotérreos. La nueva propuesta devuelve el helio al grupo de los gases inertes y optimiza el número de triadas, usando la idea de sustancia básica.

En E169, el mismo autor (Scerri, Eric 2013) usa la concepción dual para debatir las visiones sobre el sistema periódico publicadas por Niaz, Rodríguez y Brito (2004). Argumenta que Mendeleiev no actuó como un positivista ejemplar (como parece afirmar el texto de Niaz y colaboradores) precisamente por el énfasis que le dio al concepto abstracto de elemento y por defender su individualidad en contra de la hipótesis de Prout.

1.2.2 Otros

En esta categoría están los cuatro trabajos que también tratan el concepto de elemento químico de manera periférica pero que no tocan el tema de la dualidad.

En el análisis que hay en E60, sobre los trabajos de Mendeleiev, se narra “*Una versión lineal de las propuestas de clasificación*” (Garay, Gallego y Pérez 2006, p. 116) y otra no lineal, compleja. Ésta cruza las informaciones disponibles en el contexto de la época, teniendo en cuenta precisiones temporales, especificando concepciones de los distintos colectivos, intenciones didácticas de los integrantes de las comunidades de especialistas, etc. En la “*versión lineal*” no se trata el concepto de EQ de manera explícita, pero en la versión contextualizada “*En torno a lo histórico-epistemológico*”, el texto empieza señalando la importancia que tuvo éste en el contexto del congreso de Karlsruhe y la diferenciación entre sustancia simple y elemento. Se afirma que Mendeleiev estableció esta distinción

inmerso en el debate sobre la hipótesis de Prout. El texto continúa con el debate sobre los aspectos que permitieron la aceptación de la ley periódica.

Jou (2013), en E103, explica una *“història dels elements químics”* desde la física nuclear, la astrofísica y la cosmología. No se aborda el concepto de manera explícita, pero se expresa como sinónimo de átomo (físico). El autor señala la importancia de la física para darle una genealogía a la tabla periódica a partir de la fusión pre-galáctica, la fusión en el seno estelar y las explosiones de supernovas.

Aunque el objetivo central de E129 (Mans 2013) es describir diversas tablas periódicas (lo volveremos a citar en la sección siguiente), vale la pena señalar que parte de la base de que la estructura electrónica es *“... la característica fonamental dels elements...”*, que de ella se derivan *“... les propietats químiques i físiques...”* y que de las regularidades observadas (y postuladas) en las estructuras atómicas se deriva la periodicidad. El autor menciona que actualmente *“S’ha passat de la taula «química» a la taula «física»”* (2013, p. 34); y que el hecho de presentar la información mezclada, como suele ofrecerse en las tablas convencionales de los libros de texto, puede favorecer la confusión entre el átomo del elemento como concepto y el elemento como sustancia.

En E180 (Schwarz y Rich 2010), se tratan algunos aspectos teóricos relacionados con el SP para combatir determinadas concepciones erróneas. Se plantean algunas preguntas clave en el contexto de la enseñanza cuya respuesta favorece la comprensión más profunda de la estructura del sistema periódico. Lo que nos interesa sobre el concepto de EQ es que sugiere ir más allá de la diferencia conceptual entre las sustancias elementales macroscópicas (como el diamante o los fullerenos) y los elementos que se conservan durante la reacción química, para tener en cuenta, también, la diferencia entre átomos libres en el vacío y átomos enlazados en diversas circunstancias. Así se sustenta la idea de que el SP debería ser considerado como un *“... chemically useful arrangement of chemical elements at the macroscopic level and of chemically bonded atoms at the microscopic level.”* (2010, p. 441).

2 El formato de la tabla periódica

En esta categoría agrupamos los artículos que abordan las representaciones del sistema periódico. Aquí encontramos textos que defienden una propuesta en particular (o diversas),

o que proponen una modificación concreta según los criterios que quieren resaltar en un formato determinado. Hemos construido dos categorías principales: los que tratan el tema como objetivo central y los que lo abordan como objetivo periférico (pero importante). El primer grupo se divide en cinco categorías y el segundo en tres, como se muestra en la tabla 4.

2.1. Objetivo Central	2.1.1. Lantánidos y actínidos	E20, E21, E99, E100, E120, E121, E122, E175, E191
	2.1.2. Optimización relaciones y utilidad	E97, E111, E114, E129, E156, E157, E158, E180
	2.1.3. Optimización triadas	E115, E172, E173, E174
	2.1.4. Redes neuronales	E226, E123
	2.1.5. Capacidad predictiva	E109
2.2. Objetivo Periférico	2.2.1. En desarrollo del SP	E63, E96, E112
	2.2.2. Otras relaciones	E25, E81, E113, E156, E208
	2.2.3. El futuro en la TP	E87, E90, E98, E104, E214

Tabla 4. El formato de la tabla periódica

2.1 El formato como objetivo central

Los trabajos que tratan las representaciones como objetivo central están clasificados en cinco grupos según los criterios que usan para sustentar el formato que presentan: posición de los elementos de transición interna, optimización de la cantidad de relaciones entre elementos y la utilidad del esquema, optimización del número de triadas, resultados de usar redes neuronales y capacidad predictiva.

2.1.1 Posición de lantánidos y actínidos

En esta categoría citamos un grupo de artículos que forman un debate abierto en el que los autores se contestan unos a otros sobre sus apreciaciones.

Clark y White (2008), en E21, plantean que la gran variedad de formatos que se publican confunden a los estudiantes y frustran a los profesores. Reconocen que tal pluralidad es importante para los investigadores, pero no para los estudiantes, entre otras cosas porque *“The beauty of the periodic table does not lie in its exceptions, but in its symmetry”* (2008, p. 497). Se

describen los tres formatos más usados en los libros de texto, con los lantánidos y actínidos separados del cuerpo principal (“*The fly leaf periodic table*”): la “*forma 14LaAc*”, la “*forma 14CeTb*” y la “*forma 15LaAc*”. Los autores se preguntan “... *when can we expect authors to become aware of this forward step and change their editions?*”.

Este artículo tiene 3 réplicas directas, E99, E191 y E121.

En E99, Jensen (2008b), que había propuesto la *forma 14LaAc* en 1982, señala la preocupación por lo que se refleja en E21. En primer lugar, que muchos libros de texto ofrecen versiones de la tabla periódica sin explicar las premisas que las sustentan, o incluso contradictorias con las explicaciones del libro. Por otra parte, se critica la idea de zanjar situaciones ambiguas como ésta a partir de acuerdos, sólo con el propósito de enseñar ideas fijas y fáciles de memorizar. El autor considera que se deben enseñar las ambigüedades y la función creativa de las representaciones en vez de reducirlas a generalizaciones simples; y que el científico debe ser crítico en vez de apelar a la autoridad o a las decisiones arbitrarias de comités y de encuestas de popularidad.

En su comentario (en E191), Stewart (2008) opina que el hecho de que la IUPAC haga una sugerencia no es una razón útil para tomar decisiones de este tipo. La división en bloques *s*, *p*, *d*, *f*, está relacionada con las configuraciones electrónicas y es imposible partir el bloque evitando las excepciones. El autor propone una alternativa: una representación en espiral en forma elíptica de manera que se adapte fácilmente a una página de libro sin necesidad de separar ningún elemento.

En E121 (Lavelle 2008b), el autor señala que unas de las razones por las cuales no se ha adoptado de manera uniforme una propuesta de tabla periódica determinada, está relacionada con que muchos autores no quieren ser “atacados” por los defensores de la *forma 14LaAc*. Lavelle sugiere que los libros de texto expliquen las dificultades de elegir un formato determinado. Advierte que la propuesta de la IUPAC es confusa y sugiere algunas aclaraciones.

Siguiendo esta línea de argumentación en E120, Lavelle (2008a) reivindica la colocación del La y del Ac en el bloque *d*. Señala los defectos de la *forma 14LaAc*; relacionadas con la equiparación entre configuraciones electrónicas teóricas y empírica. Lavelle insiste en que la

colocación de los elementos es tan problemática porque debe basarse en un equilibrio de diversos factores y no sólo en las tendencias periódicas y señala que, por ejemplo, existen diversos ejemplos de elementos con propiedades similares que están en grupos diferentes y de elementos muy diferentes que están en el mismo grupo.

Este artículo generó tres réplicas: Clark (2008), Jensen (2009) y Scerri (2009b).

Clark, en E20, como coautor de la carta que comenzó este debate, acepta que la única manera de solucionar el problema de la “*fyleaf*” es abogar por su desaparición, puesto que los químicos nunca se pondrán de acuerdo en una versión. El tamaño, que antes era importante para los libros, ahora no lo es debido a las técnicas de impresión y los formatos digitales. El debate se debería centrar, según Clark, en cuál TP (larga) es mejor, más simétrica y que mejor refleja el orden natural.

Jensen (2009), en E100, se refiere al artículo de Lavelle, E120, porque, dice Jensen, se basa en un argumento inconsistente y distorsiona el texto original de su propuesta (Jensen 1982). Para aclarar, el autor enumera los pasos para clasificar un elemento: asignación del bloque (*s, p, d, f*) con base en los electrones de valencia, asignación de un grupo a partir de los electrones de valencia, verificación de lo anterior con patrones globales (tendencias de propiedades) y verificación del orden de número atómico. Y, después de señalar algunas incoherencias de Lavelle, acaba concluyendo que la tabla periódica, como tantas leyes de la química, se basa en configuraciones ideales más que reales.

Scerri (2009b), en E175, también se refiere al texto de Lavelle (E120). Señala que la configuración electrónica es una aproximación (una superposición de diversas configuraciones). Los inconvenientes que aduce Lavelle no son tan determinantes pues no existe ningún requisito para que todos los átomos de cada bloque tengan exactamente la misma configuración de valencia.

Finalmente, Lavelle (2009) en E122 responde al texto E100 de Jensen. Aclara que no está proponiendo ningún cambio de posición concreta, sino que es Jensen, con otros autores, quien pretende cambiar la distribución adoptada por la IUPAC. Está de acuerdo con Jensen en la combinación balanceada de factores para la colocación de elementos, pero insiste en que los libros deberían explicar la dificultad de elegir un formato determinado;

aunque opina que este debate no se debería trasladar a los libros de texto y a las clases donde se deberían usar las tablas convencionalmente estandarizadas.

2.1.2 Optimización de relaciones y utilidad

Laing (2001), en E111, cita una referencia que hace Rayner-Canham (2000) en E156, de su propuesta de esquema para la TP. En este artículo presenta de nuevo su formato, señalando con algunas flechas las relaciones que se revelan: la diagonal Be – Al – Ti, las relaciones entre Mg y Zn, y entre Al y Sc; las relaciones de movimiento de caballo desde Ag hasta Tl, etc.; y señala que ningún otro formato muestra tanta información de manera tan simple.

Jensen, por su parte, en E97 (Jensen 2003b), plantea la ambigüedad que suele haber con el tratamiento de los elementos del grupo del Zn: ¿elementos del bloque principal o elementos de transición? Se discuten diversas propuestas para resolver este problema. Se centra en señalar cuáles formatos responden mejor a cada una de las siguientes preguntas: ¿Qué es un elemento de transición? ¿Dónde termina el bloque de transición? ¿Qué es un elemento del bloque *d*? ¿Dónde termina el bloque *d*? ¿Dónde encaja el grupo del Zn con el bloque principal? Se explica el origen y transformación de los usos del término “elemento de transición”. Se concluye que tanto la evidencia química como la espectroscópica ponen de manifiesto que el grupo del Zn debería estar en el bloque principal y que esto se solucionaría con una bifurcación del grupo del berilio y el magnesio. Se muestran diversos formatos para expresar tal bifurcación y las explicaciones correspondientes, con algunas soluciones didácticas interesantes como una adaptación del formato piramidal, dividido en tres partes que se irían agregando al aumentar el nivel del curso: grupo principal (con el grupo del Zn incorporado en la bifurcación mencionada); grupo de transición y grupo de transición interna. El autor concluye que no es conveniente forzar determinadas simetrías para facilitar la memorización, porque se enseñarían hechos químicos falsos.

Rich (2005) se pregunta en E157, si “*Are some elements more equals than others?*” haciendo un guiño al libro *Animal Farm* de George Orwell. Propone una tabla que él llama “*egalitarian periodic chart*”, que no separa ningún grupo. El autor aclara que considera a Ac y La como miembros de pleno del grupo epónimo, tanto por las similitudes químicas como por las configuraciones electrónicas. Al final se pregunta: ¿por qué no enseñar que en las tablas estándar hay ciertos elementos que se parecen entre sí más que otros que están en

posiciones adyacentes? Aunque inicialmente puede confundir un poco a los estudiantes, Rich es partidario de confrontarlos con la complejidad. Su mensaje principal es que no existe “la” mejor representación para todos los propósitos.

Laing (2009b), en E114, hace una comparación entre dos ediciones de un libro de texto: una de 1929 citada por Jensen (2008b) en E99 y otra de 1945 citada aquí; señala que la posición de La y Lu ha estado en duda durante mucho tiempo, así como la posición del hidrógeno. Afirma que es un despropósito discutir cuál es la posición “correcta” del torio, o del uranio (o de La, Lu, Ac, Lr), pues depende del criterio y, por lo tanto, de las necesidades particulares. Insiste en que no se debe usar una única forma de TP refrendada, y agrega que es importante que los estudiantes conozcan y usen diferentes formatos.

Schwarz y Rich (2010) hacen, en E180, una revisión de diversos aspectos que actualizan las explicaciones teóricas del sistema periódico, partiendo de algunas preguntas clave sobre la posición de los halógenos y los metales alcalinos, sobre el origen físico de las longitudes de los períodos, la estabilidad de los niveles de energía llenos en los gases nobles, las configuraciones electrónicas de los elementos de transición, la regla de Madelung, las tríadas y las posiciones de algunos elementos. Sobre las explicaciones del SP volveremos en otra categoría, ahora nos interesa resaltar la idea de que todos los esquemas de clasificación tienen casos de frontera problemáticos, porque están diseñados para racionalizar una realidad compleja de la manera más simple posible. Aunque dependen de los criterios, los esquemas deben ser competentes en dos aspectos principalmente: la precisión empírica y la compatibilidad con los principios de la mecánica cuántica.

En el resumen de E158 (Rich y Laing 2011), los autores señalan que “... *no single and simple periodic chart can reveal all of the important relationships among the chemical elements.*” Se hace una revisión histórica, no exhaustiva, pero citan a Eduard G. Mazurs (1974) que sí la hace. Se dan varios ejemplos de elementos que presentan similitudes químicas pero que no quedan adyacentes en una tabla tradicional y sugieren que algunos elementos ocupen más de una casilla. La causa es que no siempre coinciden las semejanzas entre configuraciones electrónicas y entre propiedades químicas; las primeras pueden ser más importantes para los enfoques más teóricos, pero las otras pueden ser más importantes para enfoques más descriptivos. Proponen un esquema que tiene el objetivo de evidenciar la mayor cantidad posible de relaciones. Concluyen que la variedad de formatos es válida, que los químicos

deben usar los que les sean más útiles y que reúnan la mayor cantidad de información posible; y animan a los lectores a diseñar sus propias tablas periódicas.

Mans i Teixidó (2013), en E129, como ya habíamos dicho, hace un recorrido por diversos formatos de la TP. Compara la función de los más antiguos (predictiva) con la de los actuales (más didácticos). Actualmente es muy importante tener todos los elementos puestos en una representación gráfica “... *sigui per visualitzar-ne les variacions de propietats al llarg dels grups i períodes, sigui per cercar-hi altres relacions diagonals o triàdiques més ocultes*” (2013, p. 35); por ello se han diseñado centenares de propuestas que intentan mostrar la periodicidad y las relaciones profundas entre los elementos de la mejor manera posible. Los criterios de un diseñador de tablas periódicas se basan en la coherencia, la legibilidad y la estética; y, como tales conceptos han evolucionado con el tiempo, las tablas periódicas también lo han hecho. Se cita la página web “*The internet database of periodic tables*” (Leach 2015) y se resalta que en los últimos años ha habido una eclosión de generadores de tablas periódicas.

2.1.3 Optimización de triadas

Los siguientes artículos se basan en la optimización del número de triadas para proponer formatos de tabla periódica. Este concepto, que fue clave desde antes de la formulación de la ley periódica por parte de Mendeleiev, y que entonces estaba fundamentado en las masas atómicas, actualmente se ha conceptualizado con base en los números atómicos.

En dos artículos (E172 y E173) de los cuatro agrupados aquí, Scerri (2008a, 2008b) utiliza el criterio de las triadas para sustentar su propuesta de tabla periódica. En E172 hace un recorrido histórico y describe otras propuestas, como la *ElemenTree* (tridimensional) del químico canadiense Fernando Dufour o la *Chemical Galaxy* (espiral) de Philip Stewart. Para explicar su propuesta, primero señala las triadas presentes en la “... *tabla periódica moderna estándar, en su forma llamada de longitud media...*” (2008a, p. 238). Las triadas señaladas son: Li, Na y K; Ru, Os y Hs; He, Ne y Ar; S, Se y Te. Compara la alternativa “*escalón izquierdo*” (donde el helio está con los alcalinotérreos) con su propuesta, que ubica el hidrógeno con los halógenos, que quedarían a la izquierda del cuerpo de la tabla junto con los gases inertes. Esta opción es mejor, según Scerri, porque elimina el período anómalo de dos elementos (H y He) y optimiza las triadas con la formación de una más: H, F y Cl.

En E173, el autor explica el concepto de “*perfect atomic number triad*” y hace una revisión histórica explicando cómo usó Döbereiner las tríadas de masa atómica. Resalta que éstas se convirtieron en una herramienta útil para varios químicos de la época, algunos de los cuales dedicaron mucho tiempo a buscarlas sin éxito, y que constituyeron el primer paso del SP. Scerri sugiere que aunque Mendeleiev rechazó los enfoques numéricos, pudo haber usado un procedimiento similar al de tríadas para buscar relaciones entre elementos. Después de ofrecer ejemplos, el autor argumenta que las tríadas perfectas de números atómicos representan la clasificación de elementos en sentido abstracto. La propuesta se basa en el formato de *escalón izquierdo* pero con el helio en el grupo de los gases nobles y el hidrógeno en el de los halógenos, como también se explica en el artículo anterior. Su objetivo al usar las relaciones tríadicas como criterio secundario en la formación de grupos es promover el debate.

Laing (2009c) en E115, describe la propuesta de Scerri del artículo anterior (E173) señalando que ya es el cuarto formato que ha defendido en los últimos años. Laing propone el suyo y, para sustentarlo, muestra que incluso con los criterios de Scerri podría haber un formato más eficiente. Critica la tríada H, F, Cl, que es clave en la propuesta de Scerri, porque no refleja el espíritu de tríada original de Döbereiner, pues no presenta una degradación suave de las propiedades, que son tan diferentes entre H y los halógenos. Laing propone otras tríadas que no están en la propuesta de Scerri y señala elementos que aún teniendo similitudes químicas quedan muy separados en la *forma escalón izquierdo*. Describe la tabla que había publicado antes (Laing 2005) y señala todas las tríadas y las relaciones diagonales que en otros formatos se pierden. Insiste en que no hay una tabla periódica perfecta o ideal, y que se debe elegir la que muestre mejores relaciones y patrones de periodicidad según los propósitos. En palabras del autor “... *you get back from your periodic table what you put into it*” (2009c, p. 1184).

El último artículo de este grupo, E174, es la respuesta de Scerri (2009a) al anterior. Explica qué es una tríada perfecta y señala que algunas de las que propone Laing no lo son. Scerri acepta que la propuesta de Laing forma más tríadas, pero considera que el precio de la ocupación doble es demasiado alto. Defiende la búsqueda de “la” mejor TP, porque la periodicidad refleja las tendencias de la naturaleza y no “... *an artificial classification designed for our convenience and as an aid to teaching chemistry*” (2009a, p. 1185).

2.1.4 La tabla periódica y las redes neuronales

En E226 y E123 se describen los resultados de comparar los elementos químicos a partir de los valores numéricos de algunas de sus propiedades. Se utilizan redes neuronales, que son eficientes en el reconocimiento de patrones de clasificación. Cada EQ es caracterizado con una lista de valores numéricos de algunas propiedades. La red neuronal compara estas listas y establece grupos según las semejanzas encontradas. Estas herramientas han servido para señalar semejanzas que no son evidentes en las tablas periódicas convencionales.

En E226 (Zhekai 2010) se describen los resultados de la aplicación de una red neuronal *Kobonen* (KN), con los valores de 10 propiedades de los primeros 54 elementos. La red produce un mapa bidimensional de 12 x 8 casillas (llamadas neuronas), en el que aparecen los elementos de manera que los más semejantes están más cerca en el mapa, ya sea dentro de la misma neurona (los más similares entre sí), o en neuronas vecinas. El resultado en este caso muestra tres clústeres (o grupos de neuronas) en los que aparecen los elementos metálicos, los no metálicos y los semimetálicos. En el clúster de los metales, por ejemplo, se puede ver que Na, K, Ca, Mg y Li están notablemente cercanos, pero distanciados de otros metales como Co, Ni y Fe. Estos últimos, al quedar en la misma neurona, revelan sus grandes semejanzas. También se muestra que Al y Be ocupan la misma neurona, coherentemente con las relaciones diagonales reportadas por diversos autores como Rayner-Canham (2000). El estudio confirmó otras relaciones como el principio de singularidad del segundo período y tuvo éxito en predicciones de propiedades que se habían dejado fuera a propósito.

Por su parte, Lemes y Dal Pino (2011), en E123, también usan una KN con el fin de aportar elementos al debate científico. Se preguntan “*Can an artificial intelligence system yield a classification of the elements that resembles, in some sense, the periodic table?*” (2011, p. 1511). Introdujeron a la red neuronal los datos que Mendeleiev tenía disponibles y obtuvieron algunos clústeres formando grupos como los halógenos, los metales alcalinos y los metales de transición. La red también mostró algunos patrones de propiedades como la electronegatividad que no habían sido entradas en la matriz, pero no alcanzó el nivel de sofisticación que tiene el sistema elaborado por el químico ruso.

2.1.5 Capacidad predictiva como criterio para proponer formatos

Como ya habíamos dicho cuando citamos el artículo E109 (Labarca y Zambon 2013) en la categoría sobre el concepto de elemento, un objetivo también central de este trabajo es el de proponer un formato con base en una conceptualización alternativa. Aunque el criterio de triadas también es importante en su propuesta, lo hemos considerado en esta categoría porque reivindica la “... mejor capacidad predictiva de las masas atómica” (2013, p. 69) como característica diferenciadora de los otros formatos. Para comparar, se muestran la forma *escalón izquierdo* de Janet, que se basa en la regla de Madelung, la tabla periódica convencional de longitud media (18 columnas), y la de *escalón izquierdo* modificada por Scerri. En la propuesta de Labarca y Zambon, los elementos se dividen en 46 bloques, ordenados verticalmente por el número creciente de neutrones del isótopo más liviano; éste funciona como criterio primario y el número atómico como criterio secundario; es decir, cada bloque consta de una fila horizontal de 1, 2, 3, 4, 5 ó 10 elementos, según el caso.

2.2 Los formatos como objetivo periférico

También encontramos artículos que tratan la cuestión del formato como objetivo secundario y los hemos dividido en tres grupos: aquellos cuyo objetivo central es el desarrollo histórico del sistema periódico, los que resaltan un formato en concreto para señalar relaciones alternativas entre elementos (diferentes a las de grupo y período tradicionales) y los que de alguna manera abordan el futuro de la tabla periódica.

2.2.1 El formato en el desarrollo del SP

El artículo E96 (Jensen 2003a) es la segunda parte de un tributo dedicado a Linus Pauling. En la primera parte (Jensen 1996) se tratan los orígenes del concepto de electronegatividad y en la segunda se aborda la historia del concepto durante el final del siglo XIX y el principio del XX. El texto está dividido en cuatro partes, de las cuales nos centraremos en la segunda: “*Electronegativity and the Periodic Law*” (2003a, p. 281); las otras tres abordan la relación de la electronegatividad con la valencia clásica, con la termoquímica y con la teoría eléctrica de la materia. Se explica que las clasificaciones basadas en la electronegatividad, dominantes desde la época de Lavoisier, perdieron protagonismo al comienzo de la década de 1850 ante la exploración de las que se basaban en la valencia y la masa atómica, y que finalmente desembocaron en el descubrimiento de la ley periódica. Algunos científicos, como Lothar Meyer, trataron de conciliar los dos tipos de clasificaciones señalando que la

electronegatividad también mostraba periodicidad como el volumen atómico molar. Meyer quiso reflejar esta periodicidad no sólo en el conocido gráfico de volumen vs. masa atómica, sino también en una especie de TP “*conventional short-form*” que se muestra en el artículo (2003a, p. 282). Jensen señala que, a pesar de la dificultad de lectura que puede tener para los químicos actuales, esta tabla representa correctamente la mayoría de las tendencias modernas; y que se trata del primer ejemplo que él conoce de una TP que ilustra la periodicidad de la electronegatividad. Posteriormente, Jensen cita la TP piramidal propuesta por Jules Thomsen en 1895, que refleja lo que Meyer llamó “*periodos electroquímicos*”. El autor resalta dos etiquetas que Thomsen colocó en los extremos de su tabla para señalar la presencia de estos períodos: “*Elektropositive Elementé*” y “*Elektronegative Elementé*”. Para finalizar, Jensen cita la TP con la que el químico británico Sidney Young ilustraba la periodicidad de la electronegatividad en 1908.

En E112, Laing (2008), hace un recuento de las tablas que elaboró Mendeleiev. Se muestran comparaciones entre unas y otras, se describe la evolución de la representación a partir de la confirmación de las predicciones y las nuevas acomodaciones. Al final se sugiere que a partir de las comparaciones presentadas se podría especular sobre lo que respondería Mendeleiev a la pregunta: “*is there one “correct” form of the periodic table?*”

El texto de Garritz (2009), en E63, muestra que la enseñanza ha sido un motor de la investigación de punta durante muchos años y que se ha fusionado con ésta en cuestiones tan importantes como el desarrollo de la tabla periódica. Hace una reseña de textos importantes publicados en Francia y Alemania que Mendeleiev conoció antes de publicar los suyos sobre la TP. Garritz describe cómo pudieron influir éstos textos y algunos esquemas de clasificación publicados por otros autores, también con fines pedagógicos. Se citan clasificaciones como las Thenard de los metales (según su afinidad por el oxígeno), de los no metales (halógenos, calcógenos, pnicturos, grupos del carbono e hidrógeno); la de Ampère, que criticó la sobreestimación del oxígeno y propuso clasificaciones más “naturalistas” como la de gazolitos, leucositos y croicolitos; las triadas de Döbereiner; la clasificación “natural” de Dspretz en cloruros, sulfuros, carbonoides, azotoides; etc.

2.2.2 La importancia del formato en otras relaciones entre elementos

Los siguientes artículos señalan algunas relaciones entre elementos según sus posiciones en la tabla periódica, pero que son alternativas a las tradicionales de grupo y período. Aunque

el formato no es el tema central, sí es importante porque las relaciones se pueden hacer más evidentes en unos formatos que en otros.

Rayner-Canham (2000), en E156, propone diversos patrones de semejanza que pueden ayudar a contrarrestar la idea, muy criticada, de que en la química descriptiva se enseña un exceso de propiedades desconectadas. El autor describe las relaciones diagonales, las similitudes entre los grupos (n) y (n+10), las relaciones de movimiento de caballo de ajedrez, las relaciones entre los primeros actínidos, etc. Al explicar las relaciones de similitud entre los grupos (n) y (n+10), cita la propuesta de formato de Laing (1989), refiriéndose a la ocupación doble de los elementos de los grupos 13 a 17 pertenecientes a los períodos 2 y 3, colocados encima de los elementos de los grupos 3 a 7; lo cual evidencia la relación entre elementos del períodos 3 del grupo principal y del período 4 de transición (que no se evidencia con la numeración 1-18). Para evidenciarlo, se muestra un esquema uniendo casillas que están separadas en el formato tradicional.

Hawkes (2001), en E81, señala que la lista de los elementos “semimetálicos” varía según los criterios elegidos y que la línea en zigzag usada en las TP es engañosa. Se analiza la conductividad como criterio. El silicio y el boro, por ejemplo, no tienen propiedades metálicas pero son semiconductores, por lo tanto deberían ser clasificados como no metales semiconductores. El selenio es metálico en algunas propiedades pero es no metálico en otras, y esta ambigüedad lo define como semimetal, aunque no está al costado de la línea de zigzag. El arsénico siempre se clasifica como semimetal, su apariencia no es claramente metálica, ni tampoco es no metálica, es conductor y su química se parece más a la de los no metales. El caso del antimonio también es ambiguo, es razonable clasificarlo como semimetal pero también como metal, etc. El carácter metálico es una combinación de varias propiedades que muestran incoherencias cuando se evalúan todas al mismo tiempo. Según Hawkes, es más útil considerarlas por separado que usar el término “semimetal” para una categoría que es indefinida y, posiblemente, indefinible.

Siguiendo con el tema de los metaloides, Vernon (2013) reporta en E208 la revisión de 194 listas publicadas desde 1947 hasta la fecha del artículo. En dichas listas aparecen 26 elementos diferentes, con un promedio de 7 metaloides por lista. Los más frecuentes son As, que está presente en todas las listas (100%), Te (98%), Ge (96%), Si (95%), Sb (88%) y el B (86%). En algunas listas también se encontró el carbono (9%), el aluminio (9%) y el

bismuto (6%). Se cita una definición de 1977 formulada por Masterton y Slowinski, que describen los metaloides en términos de valores de potencial de ionización, de electronegatividad y de conductividad. Con estos criterios se analizan algunos casos y se concluye que aunque tiene algunas excepciones se trata de una definición útil.

En E25 (Cronyn 2003), se evidencia el problema de la posición del hidrógeno. Se citan diversos autores que lo señalan y lo explican, pero la pregunta sigue abierta: se coloca con los halógenos porque le falta un electrón para completar el nivel de valencia, con los alcalinos porque tiene un electrón de valencia, o con el grupo del carbono por similitud química. Se menciona la propuesta de Laing (2001) de ponerlo en dos posiciones y otras que sustentan que no pertenece a ninguna familia. Cronyn reivindica la similitud química con el carbono (potencial de ionización, afinidad electrónica, electronegatividad, enlaces H–H, C–H, Si–H, etc.) y las diferencias con los metales alcalinos. Finalmente, el autor hace un llamado a “*Never Let Sleeping Dogmas Die*” (2003, p. 949).

En E113 (Laing 2009a) se plantea que muchos libros de texto, al tratar las similitudes de los lantánidos, sólo se refieren al número de oxidación 3+ y a la disminución del radio atómico (que no es correcta) y se dejan de lado otras características importantes de esta familia. Laing explica diversas propiedades y relaciones; y proporciona un esquema parcial de tabla periódica, con los lantánidos, en el que se pueden apreciar muchas de estas relaciones, entre ellos mismos y con otros elementos. El gadolinio queda en el centro de este bloque parcial, de tal manera que se evidencian las triadas La, Gd, Lu; la diagonal Ga, Gd, Hf, cuyos óxidos muestran un aumento en el punto de fusión; y la columna Ba, Eu, Yb, cuyos miembros comparten estado de oxidación 2+.

2.2.3 *El futuro en la TP*

En E104 (Karol 2002) se aprovecha la tabla periódica de *forma larga* (32 columnas), para imaginar cómo sería ésta si se agrega una fila más. Teniendo en cuenta que el último elemento, situado en la parte inferior derecha, es el Z=118, un hipotético Z=119 ocuparía el primer lugar de una fila debajo del francio, en el bloque *s*. Siguiendo la misma intuición de Seaborg cuando formuló la hipótesis actínida, se podría pensar en el comienzo de un bloque *g* de “súper actínidos” con el elemento Z=121 debajo del Ac. Con esta hipótesis se analizan dos argumentos que podrían contradecir una posible ampliación de la tabla periódica: los efectos relativistas y la estabilidad del núcleo; y se especula sobre las

características de un hipotético elemento $Z=1138$, que quedaría en la columna de los gases nobles y que podría ser más reactivo que éstos, sólido y muy denso.

Jensen (2008a), en E98, critica la publicidad espectacular que se hizo de la supuesta síntesis del HgF_4 , en condiciones extremas de no equilibrio, y que llevó a que en algunos libros de texto se considerara el mercurio como un metal de transición. Al evaluar la importancia de acontecimientos de este tipo, para modificar la tabla periódica, Jensen propone dos enfoques: uno estadístico y otro funcional. El primero considera la posibilidad de elegir entre etiquetar el grupo del mercurio como un grupo de transición y tratar los otros 2/3 de sus integrantes, con el 99% de su química, como excepcional, o seguirlo tratando como principal pero con una milésima de la química del mercurio como excepción. El segundo enfoque considera elegir entre las condiciones cotidianas de temperatura y presión como estándares para evaluar los comportamientos de los elementos, o elegir las extremas. En los dos argumentos, afirma el autor, “... *the optimal choice is rather obvious*” (2008a, p. 1183).

En E87, Hoffman (2009) explica el proceso de asignación de nombre al elemento $Z=111$ (roentgenio, Rg) desde que se aceptó el descubrimiento en 1995 hasta la aprobación final por parte de la IUPAC en 2004. Se hace una revisión histórica de la TP en dos partes, antes y después de Moseley. En ésta última se repasa el debate de la colocación de los actínidos, el aporte de Seaborg, y se describe un panorama sobre la exploración de los elementos transactínidos (TANs). También se muestra una versión de la tabla periódica (estándar) con pequeñas modificaciones para resaltar algunas relaciones. Finalmente, ante la pregunta sobre el papel de la TP en el futuro, el autor hace algunos pronósticos sobre su utilidad para buscar elementos y predecir propiedades. Pronostica un papel vital de la TP, aunque posiblemente con ajustes, y la necesidad de colaboración entre químicos teóricos y experimentalistas para el estudio de los efectos relativistas y la estabilidad de los núcleos.

Ibrahim (2005), en E90, aprovecha el concepto de triada para predecir propiedades de elementos aún no sintetizados. Para introducir el concepto y su utilidad predictiva, describe los trabajos de Döbereiner y su importancia en las predicciones de Mendeleiev. Señala 10 triadas presentes en “... *the modern periodic table* ...” y calcula el porcentaje de error en cada una de ellas. Señala 10 triadas con elementos más pesados que el lawrencio.

En E214 (Wallington et al. 2013) se hacen previsiones sobre las características de los combustibles del futuro teniendo en cuenta la sostenibilidad. A partir de los requerimientos y las tendencias periódicas se muestra que la química de los combustibles se basará en el carbono, el hidrógeno y el oxígeno.

3 Explicación de la periodicidad

En este grupo recogemos artículos que abordan temas relacionados con la explicación de la periodicidad, desde el punto de vista de la teoría atómica química como desde el modelo físico y la configuración electrónica.

3.1. El SP y la teoría atómica	E60, E92, E141, E169
3.2. El SP y configuración electrónica	E170, E171, E172, E180, E188

Tabla 5. Explicación de la periodicidad

3.1 El SP y la teoría atómica

En el “... *análisis histórico–epistemológico de los trabajos de Mendeleiev ...*” que se hace en E60, Garay, Gallego y Pérez (2006), plantean el desafío que significó la identificación del argón, superado con la incorporación del grupo de los gases inertes, que obligó a abordar la relación entre el modelo atómico y la periodicidad. Para analizar este punto, los autores seleccionan la información más importante con que contaba Mendeleiev; y sostienen que aunque el químico ruso no expresó su modelo en relación explícita con el modelo atómico de Dalton, “... *siempre dejó entrever una relación entre este modelo atómico y su propuesta de periodicidad*” (2006, p. 120). Los autores lo sustentan con afirmaciones de Mendeleiev, por ejemplo “... *los átomos despliegan una periodicidad armónica de las propiedades, dependiente de sus pesos relativos*” (2006, p. 120). Se firma que Meyer basó su tabla en la teoría atómica de Dalton.

En E92, Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo (2009) resaltan el papel del sistema periódico de Mendeleiev en la construcción de los modelos atómicos. El texto reflexiona sobre como guiar a los alumnos por la aventura de imaginación y creatividad que significó el viaje intelectual desde Mendeleiev hasta Pauling, y ayudarles a comprender la relación entre la química, que ya tenía la ley periódica, y algunos descubrimientos de la física como la radiación y sus interacciones, las partículas cargadas eléctricamente, etc. La explicación de

las características químicas de los elementos por medio de átomos (químicos) concebidos como “bloques”, fue un paso necesario para un nivel de explicación más profundo. Teniendo en cuenta que el papel didáctico se mantiene intacto a pesar de centrarse en la estructura interna de los átomos (que Mendeleiev no aceptó), el texto invita a la pregunta: “*What can we say about this apparent contradiction?*” (2009, p. 446). Se propone un recorrido basado en la historia que destaca al átomo físico como una necesidad que surgió para estructurar las explicaciones químicas genuinas y a los elementos como hipótesis química anterior a cualquier evidencia física disponible.

El texto de E169 se trata de una crítica que hace Serri (2013) a diversas cuestiones publicadas por Niaz, Rodríguez y Brito (2004). Una de ellas es la relación entre la periodicidad y la teoría atómica. Scerri critica la posición de Niaz y sus colaboradores cuando afirman que Mendeleiev se basó más en la teoría atómica que en datos experimentales y que, por lo tanto, su enfoque no se puede catalogar de inductivista ingenuo.

En E141, Niaz (2013) contesta a Scerri la crítica anterior, punto por punto. En el punto que nos interesa, Niaz se defiende afirmando que él y sus colaboradores no se referían a *inductivismo ingenuo* sino a un enfoque de *generalización inductiva*. También afirma que ofrecían una interpretación alternativa a la de la mayoría de historiadores. Proporciona citas que muestran la ambivalencia de Mendeleiev en su posición frente a la teoría atómica y la aceptación de la ley de las proporciones. Niaz insiste en que Mendeleiev sí aceptaba la ley de Dalton, pero no apoyaba la hipótesis de Prout.

3.2 *SP y configuración electrónica*

En el texto de E170 (Scerri 2000a), a partir de un artículo publicado en *Nature*, según el cual los orbitales habían sido observados directamente, el autor defiende el estatus de constructos matemáticos de estas entidades. Explica que son funciones de onda calculadas en un sistema con un electrón (el átomo de H), que sirven como aproximación para otros sistemas de más electrones y que se usan para explicar de manera aproximada las características del sistema periódico.

E188 (Spence, O’Keeffe y Zuo 2001) es la respuesta a Scerri de los autores del artículo de *Nature*. Argumentan que no pretendían decir que habían observado los orbitales, pues

coinciden en que son modelos. Lo que querían señalar, aclaran, es el gran parecido de los resultados que habían obtenido en sus investigaciones con el modelo de un electrón. Finalmente, afirman que el éxito de una ciencia como la química, y por tanto lo que deben aprender los estudiantes, está en gran medida en saber construir y usar aproximaciones útiles, sabiendo en qué contextos usarlas y con qué limitaciones.

En 171 y 172 (Scerri 2000b, 2008a), que ya habíamos citado antes, se abordan diversos aspectos filosóficos de la química relacionados con la tabla periódica. En E171 se aborda la cuestión de la reducción de la química a la física y se explica que hay al menos dos problemas principales para lograrla: En primer lugar, las leyes químicas no son exactas como las de la física y no tienen el nivel de formalidad necesario para formular un sistema de axiomas; por esto los filósofos de la química han adoptado un enfoque alternativo (algunos con expectativas exageradas) estudiando en qué medida se pueden predecir datos químicos a partir de principios fundamentales *ab initio* de la mecánica cuántica. En segundo lugar, la química opera en niveles diferentes y cada nivel usa explicaciones específicas. Se pone como ejemplo el caso de las diversas explicaciones de la aparente paradoja de la ocupación y la ionización preferencial de los orbitales $4s$ respecto a los $3d$ en los metales de transición. La mayoría de libros de texto continúan argumentando, erróneamente, que la causa es que los orbitales $4s$ tienen menor energía que los $3d$, pero esto no se ha podido racionalizar en un nivel apropiado para la enseñanza de la química general.

En E172, 8 años después, el mismo autor (Scerri 2008a), al plantear una de sus propuestas de tabla periódica que ya habíamos citado, explica que *“La física teórica ha proporcionado una explicación parcial de la forma y existencia de la tabla de Mendeleev y sus descendientes modernas”* (2008a, p. 239). Esta explicación, referida a los electrones de la capa externa como responsables de las propiedades químicas, proviene de la mecánica cuántica: las soluciones de la ecuación de Schrödinger para un electrón, caracterizadas por los números cuánticos, predicen las cantidades máximas de electrones en las capas atómicas, y estos números (2, 8, 18 o 32) coinciden con las longitudes de los períodos de la tabla periódica de los químicos; pero no predicen la repetición de las longitudes de los períodos. Se han publicado algunas teorías para explicar este fenómeno, ninguna de las cuales ha sido aceptada unánimemente, lo que demuestran que la tabla periódica continúa siendo un área activa de investigación.

El artículo E180, de Schwartz y Rich (2010), ya citado en las categorías anteriores propone preguntas para dejar claros algunos conceptos sobre la estructura del sistema periódico. Algunas de estas son: ¿Cuál es el origen físico de las longitudes de los períodos? ¿Por qué son más estables los subniveles p^6 llenos de los gases nobles que otros como s^2 o d^{10} ? ¿La regla de Madelung y la de las triadas son principios químicos fundamentales? ¿Podemos extrapolar propiedades de hipotéticos elementos con núcleos de 120, 200 o 1000 protones, usando la regla de Madelung?, etc. Para cada pregunta se proporciona una respuesta corta y una detallada. Se explica el “funcionamiento” de la regla de Madelung en diversas zonas de la tabla periódica y, señalando lo que no es generalizable, se aclara que es una regla nemotécnica aproximada que no se deduce de la mecánica cuántica. Se comparan diversas secuencias de ocupación de electrones que se corresponden con otros esquemas de clasificación, uno de los cuales se presenta aquí. Se concluye que un buen esquema de ordenación debe tener suficiente precisión empírica y debe ser compatible con los principios cuánticos, pero siempre depende de los criterios usados. Algunos son deformados expresamente para buscar mayor simetría; además, los límites, siempre artificiales, pueden ser diferentes en los esquemas teóricos y en los empíricos. En definitiva, los hechos químicos y la periodicidad son una realidad compleja que no se puede racionalizar completamente de una manera simple y única. La regla de Madelung es una creación de los químicos y los físicos atómicos, que ha pasado de profesores a profesores y de profesores a estudiantes, con el motivo de hacer más fácil el aprendizaje. Los autores argumentan que es mejor tratar una estructura compleja, tal como es, en vez de usar doctrinas incorrectas por tratar de simplificar.

4 Desarrollo y aceptación del SP

Aquí clasificamos los artículos que abordan el desarrollo y la aceptación del sistema periódico en comunidad científica. Están clasificado en tres grupos: los que se centran en el debate sobre qué fue lo más importante para aceptarlo (predicciones, acomodación de los elementos, correcciones de datos conocidos), los que se centran en aportar argumentos sobre el estatus de la ley periódica y los que se centran en la biografía de Mendeleiev.

4.1. Predicciones, acomodaciones, correcciones	E87, E141, E169, E172
4.2. Estatus de la ley periódica	E60, E141, E168, E169, E205

Tabla 6. Desarrollo y aceptación del sistema periódico

4.1 Predicciones, acomodaciones y correcciones

En E172, Scerri (2008a) se pregunta “¿qué tan impresionantes fueron estas predicciones?” (2008a, p. 237) refiriéndose a las famosas y exitosas predicciones del galio, el germanio y el escandio; pero también se refiere a las predicciones fallidas. El autor afirma que no está claro que las predicciones exitosas fueran tan decisivas para la aceptación de la tabla periódica. Para sustentarlo se apoya en que a Mendeleiev le dieron la medalla Davy conjuntamente con Meyer, que no hizo ninguna predicción, y en el discurso institucional no se mencionaron. Scerri interpreta que el premio fue otorgado a los dos químicos principalmente por acomodar los elementos en sus respectivos sistemas.

Hoffman (2009) afirma en E87, que la tabla de Mendeleiev tuvo aceptación porque, además de mostrar la periodicidad de los elementos, proporcionó un método de clasificación que ilustró una ley fundamental de la naturaleza, y porque señaló errores en los pesos atómicos. El éxito de las predicciones fue la prueba experimental que dio credibilidad a su sistema periódico.

El debate de la aceptación de la ley periódica también forma parte de la discusión entre Scerri (2013) y Niaz et al. (2013) que ya hemos citado (E169 y E141). En relación con esta categoría, Scerri critica la manera en que ellos interpretan a Lakatos en cuanto a la importancia de las predicciones. El autor firma que, según el filósofo húngaro, las post-dicciones, o acomodaciones, también deberían considerarse como una forma de predicción, ampliando así el concepto y superando el enfoque limitado de Niaz y sus colaboradores al considerar, como predicciones, sólo los elementos desconocidos. Scerri también critica la afirmación de que Mendeleiev construyó una teoría al haber formulado predicciones (nuevas) de manera exitosa.

4.2 Estatus de la ley periódica

Volviendo al “... análisis histórico-epistemológico de los trabajos de Mendeleiev ...” de Garay et al. (2006) en E60, los autores señalan que los fundamentos del modelo de periodicidad se han estudiado desde dos perspectivas: desde la lógica inductiva y desde el carácter deductivo,

este último sustentado en el éxito de las predicciones; pero aclaran que aún no ha sido posible esclarecer si la propuesta de Mendeleiev fue sólo una codificación de elementos o una ley. Los autores lo consideran un modelo científico en el sentido de Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), es decir “... que obedece a la interpretación idealizada de un fenómeno natural que permite explicarlo, predecirlo y luego transformarlo” (2006, p. 121).

En E168, Scerri (2011) comenta un artículo de M. Weisberg (2007) en el que el filósofo considera, con palabras que cita el mismo Scerri, que “...Mendeleev is a theorist”, más que “modeler” al descubrir y usar el sistema periódico (2011, p. 231). Para Weisberg el sistema periódico es una teoría y no un modelo, y para Scerri es una clasificación y no una teoría. El autor afirma, por ejemplo, que las predicciones exitosas de Mendeleiev no apoyan la tesis de Weisberg porque son empíricas y no se basan en el sistema elaborado. El autor está de acuerdo con Weisberg en que el sistema periódico de Mendeleiev unifica, clasifica y permite hacer predicciones; pero esto no es suficiente, pues no sirve como base de las explicaciones químicas. Además es crítico con la visión dicotómica entre modelo y teoría, que está alejada de las corrientes filosóficas actuales centradas en la capacidad explicativa de los modelos. Posteriormente, el autor aborda la cuestión del poder explicativo (mas no deductivo) de las clasificaciones o “bootstrapping” (2011, p. 236), y reivindica la importancia que tienen aunque en ciencias se suelen menospreciar.

Con ideas similares a las del párrafo anterior volvemos a la discusión entre Scerri y Niaz (E169 y E141). Además de criticar los argumentos a favor de la naturaleza teórica del descubrimiento de Mendeleiev, en el apartado “Niaz et al. on laws of ciencia” (Scerri, Eric 2013, p. 283), el autor critica las afirmaciones que intentan demostrar que el enfoque no representó el uso de una ley, atacando de paso la dicotomía entre ley y teoría. También critica la manera en que citan las ideas de Nancy Cartwright y Ronald Giere, porque buscan soporte en ideas de dos filósofos que consideran “defectuosas” todas las leyes de la ciencia, no sólo la ley periódica. Finalmente, se rebate la propuesta de que la contribución de Mendeleiev sea considerada como una teoría interpretativa que se transformó en explicativa después del descubrimiento del número atómico. El autor considera que el descubrimiento del número atómico resolvió el problema de las inversiones, pero no contribuyó a la explicación de la TP. La explicación sólo llegó con los aportes de Bohr, Stoner y Pauli, pero tampoco se convirtió, de repente, en una teoría explicativa. Según el autor, la TP no es la que explica (*explanans*) sino que es lo que queremos explicar

(*exlanandum*); es decir, la tabla periódica no es la teoría, sino que se requiere una teoría para ser explicada.

En la respuesta (E141), Niaz se defiende explicando que al citar a Cartwright estaba teniendo en cuenta el contexto en el que ella sugirió que las leyes “*mienten*”, porque requieren condiciones particulares y nunca son completamente generales. En cuanto al SP, Niaz afirma que el marco de Mendeleiev requiere mejoras, y que eso lo explica Weisberg (citado por Niaz (2013, p. 287)): “*While it is true that Mendeleev’s periodic system is in need of further theoretical explanation, the same could be said of any theory that is not a fundamental physical one*”. Finalmente, Niaz afirma que al menos tres filósofos (Wartofsky, Weisberg y Ziman) coinciden en que la tabla periódica de Mendeleiev se sustenta en un marco teórico.

En E205, Emma Tobin (2013) participa en el debate sobre la noción de *ley* en química. Comienza citando algunos enfoques: Para Vihalemm (2003) las leyes de la química son fundamentalmente iguales a las de la física, porque son verdaderas en “*condiciones ideales*” (idealizaciones). Para Scerri (2000b) son fundamentalmente diferentes a las de la física porque implican aproximaciones. Para Christie (1994), y Christie y Christie (2000), son leyes operacionalmente diferentes a las de la física (describen sistemas físicos diferentes), pero además, consideran simplista la distinción entre ley exacta y ley aproximada. La autora analiza las leyes químicas sin compararlas con las de la física porque considera que hacerlo con los mismos patrones (enfoque normativo) conduce a explicaciones simplistas. Propone dos categorías de generalizaciones: las idealizaciones y las aproximaciones. Defiende que la ley periódica de Mendeleiev tiene más carácter de aproximación que de idealización y explica el caso de la inversión del potasio y el argón, en los que la ley se manifiesta completamente incorrecta. Finalmente, Tobin resalta la importancia de este debate en la educación: hay una disparidad entre los libros de texto de física y de química en la cantidad de leyes que ofrecen que se puede explicar por el sesgo reduccionista pero también porque los libros de química usan la etiqueta “ley” de manera mucho más libre. El estudiante debería poder tomar consciencia de la importancia epistemológica de una generalización y comprender, por ejemplo, cuándo se reemplaza una ley histórica asociada con algún químico importante por una más nueva y más precisa.

4.3 Biografía de Mendeleiev

Los siguientes artículos se centran en la figura de Mendeleiev, aunque también abordan algunos aspectos que hemos tratado en otras categorías. El texto de E8 (Bascañán 2008) es exhaustivo en detalles biográficos y científicos, algunos de los cuales se explican citando el texto que presentó Mendeleiev en la conferencia Faraday de 1889, donde resume lo más importante de su presentación de la ley periódica ante la Sociedad Química Rusa.

El texto de Garritz (2007), en E62, resalta la figura de la madre de Mendeleiev. En la introducción, el autor cita cinco artículos que han pretendido reunir las ideas más importantes de la química, de los cuales 4 plantean la periodicidad como una de ellas.

5 Un elemento específico

Los artículos dedicados a un elemento determinado, los hemos dividido en tres categorías: aquellos artículos que se centran en los usos y propiedades de las sustancias asociadas a un elemento en concreto, los que se centran en describir cómo se descubrió y/o se aisló por primera vez, y los que tratan de un elemento concreto en relación con el sistema periódico.

5.1. Usos y propiedades	5.1.1. Serie “Elemental”	E7, E64, E65, E66, E67, E68, E69, E71, E73, E187, E209, E210, E211
	5.1.2. Serie “My favorite element”	E18, E32, E82, E117, E131, E134, E147, E154, E162, E224
	5.1.3. Salud y medicina	E2, E22, E136, E160
	5.1.4. Otros	E74, E135, E192
5.2. Descubrimiento, aislamiento, historia		E5, E23, E34, E70, E153, E160, E219, E222
5.3. En relación con el SP		E25, E98, E113

Tabla 7. Un elemento específico

5.1 Usos y propiedades

Los artículos que tratan las propiedades y los usos de sustancias relacionadas con elementos concretos están divididos en cuatro grupos. Encontramos dos grupos de artículos que se publicaron en series dedicadas expresamente a los elementos: una en la revista *Educación Química* que se llama “Elemental” y la otra en la revista *Journal of Chemical Education*, que se llama “My favorite element”; los dos grupos restantes están formados por los artículos que tratan especialmente de usos relacionados con la salud y la medicina, y por los que catalogamos como “otros”.

5.1.1 Serie “Elemental” de la revista *Educación Química*

La serie está dedicada a los elementos y a las sustancias asociadas. Cada artículo se centra en un elemento, describiendo algunos usos y propiedades de dichas sustancias (elementales y/o o compuestas).

En E7, Bartet (2002), presenta el yodo; Gasque (2000a, 2000b, 2001a, 2001b, 2003a, 2003b, 2006b, 2013a) habla de: flúor (E64), helio (E65), berilio (E66), boro (E67), aluminio (E68), hidrógeno (E69), gases nobles (E71) y arsénico (E73) respectivamente. En E187, se habla del oro (Sosa 2004), y Vilar (2002a, 2003, 2002b) describe características de: cobre (E209), zinc (E210) y vanadio (E211).

5.1.2 Serie “My favorite element” de la *Journal of Chemical Education*.

Esta serie, que presentó la JCE, está relacionada con una actividad que planteo la revista para activar las redes sociales, concretamente la plataforma Facebook. Se diseñaron perfiles para cada uno de los elementos químicos, de tal manera que los lectores pudieran apuntarse como “amigos” de sus elementos favoritos. Diversos autores escribieron algún artículo sobre los elementos que obtuvieron más seguidores. Los artículos de esta serie que podemos encontrar en la muestra son los que hablan del cloro en E18 (Carroll 2009), del mercurio en E32 (Diener 2009a), del boro en E82 (Hawthorne 2009), del silicio en E117 (Lane 2009), del prometio en E131 (Marek 2009), del paladio en E134 (Mednikov y Dahl 2009), del francio en E147 (Orna 2009), del yodo en E154 y en E224 (Ramette 2009; Wright 2009), y del galio en E162 (Saecker, Mary 2009). Todos ellos se refieren a algunas características especialmente llamativas de las sustancias relacionadas.

5.1.3 Salud y medicina

En este grupo encontramos los artículos E2, E22, E136, E160, que abordan la relación con la salud y los usos medicinales de algunas de las sustancias relacionadas con determinados elementos. Éstos son, respectivamente: vanadio, platino y oro (Aguilar et al. 2012), vanadio (Contreras-Cadena et al. 2014), nitrógeno (Merino y Fernández-Herrera 2013), y yodo (Rosenfeld 2000).

5.1.4 Otros

Los tres artículos de esta categoría no pertenecen a las series mencionadas antes, pero también describen algunas sustancias asociadas con elementos concretos.

En E192 (Stojanovska, Petrusevski y Soptrajanov 2012), se explica porqué es erróneo decir que el yodo no se funde, que es una de las concepciones erróneas más propagadas en los libros de texto. Además, se muestra que los experimentos son una herramienta de enseñanza muy poderosa que se puede usar de muchas maneras, con diversos objetivos y en momentos diferentes de la enseñanza. Proporcionan algunos ejemplos.

En E135 (Méndez-Rojas y Enciso 2011) se describen las características y el diseño del material “... *más bidimensional que podemos imaginar*”: el grafeno. Se especula sobre sus posibilidades en el futuro.

En E74 (Gasque 2013b), se explican las dificultades y algunos accidentes conocidos de personas que intentaron obtener flúor aislado, atrevimiento que le sirvió a Henry Moissan “... *que logró finalmente domar la fiera en 1886*” (2013b, p. 268), para ganarle el premio Nobel a Mendeleiev en 1906. Con estos acontecimientos, la autora introduce la noticia de que un mineral, la fluorita fétida o antozonita, conocido desde hace unos 200 años por su mal olor, tiene gas flúor en su interior. La explicación está relacionada con la radiación ionizante que producen las trazas de uranio que tiene y que forma átomos de F, que a su vez forman moléculas de F₂ que quedan atrapadas dentro de las vesículas de CaF₂.

5.2 Descubrimiento, aislamiento (o síntesis) e historia

Estos artículos describen el descubrimiento de algunos elementos específicos y/o el aislamiento de algunas de las sustancias elementales. Tres de ellos se centran en el oxígeno

(E34, E153 y E219) y los otros (E5, E70, E160, E222 y E23) tratan, respectivamente: el platino (Aristizábal-Fúquene 2015), los gases nobles (Gasque 2006a), el yodo (Rosenfeld 2000), el argón (Wisniak 2007) y la síntesis de los elementos transuránicos (Cunha 2009).

En E34 (Djerassi y Hoffman 2001) se describe el argumento de la obra de teatro *Oxygen*, escrita por los mismos autores: narra una situación en la que la Fundación Nobel se plantea otorgar el premio retroactivo por el descubrimiento del oxígeno. El jurado se enfrenta con la dificultad de elegir entre Lavoisier, Priestley y Scheele. Con ello, la obra aborda cuestiones como ¿qué es descubrir? ¿por qué es importante ser el primero? En E153, Quinsey (2003), además del descubrimiento y la controversia asociada (menciona la obra de Hoffman y Djerassi), también habla de la abundancia del oxígeno, de su importancia en el proceso de envejecimiento y otros procesos biológicos. Y en E219 (Williams 2003) el texto se centra en la figura de Joseph Priestley.

5.3 En relación con el SP

Los tres artículos de esta categoría ya han sido citados junto con los que abordan el tema del formato como objetivo secundario, porque proporcionan argumentos sobre la posición de un elemento en un formato determinado de tabla periódica. Los argumentos de los artículos E25, E98 y E113 se ocupan respectivamente del hidrógeno (Cronyn 2003), del mercurio (Jensen 2008a) y del Gadolinio (Laing 2009a).

6 Una propiedad en particular

También hemos agrupado los artículos cuyo objetivo central es una de las propiedades periódicas; concretamente, encontramos artículos sobre la electronegatividad y sobre el carácter metálico.

6.1. Electronegatividad	E96, E101, E163, E164, E165
6.2. Carácter metálico	E81, E97, E208

Tabla 8. Una propiedad en particular

6.1 Electronegatividad

Los trabajos de la muestra sobre la electronegatividad abordan principalmente cuestiones históricas sobre la definición y evolución del concepto. Podemos encontrar en esta categoría el artículo E96, que es el tributo a Pauling que hace Jensen (2003a) y que ya habíamos citado. También encontramos una trilogía (E163, E164, E165) de Salas-Banuet y colaboradores (2011c, 2011a, 2011b), y un estudio sobre los precursores del concepto, también de Jensen (2012), en E101.

En E96, como habíamos dicho, el autor se centra en 4 áreas en las que fue importante el concepto de electronegatividad, de las cuales ya habíamos citado una: la electronegatividad y la ley periódica. En esta categoría es importante resaltar otra de las partes del artículo que aborda la relación entre la electronegatividad y la valencia clásica. En este apartado se cita el libro de texto del químico estadounidense George Barker publicado en 1870, *A Text-book of Elementary Chemistry*, considerado el primer libro americano que se basó explícitamente en la teoría de la estructura. En el texto se afirmaba que los químicos podían determinar tres propiedades atómicas y mostraba una tabla para cada una: el peso, la valencia (Barker usó el término *equivalencia atómica*) y la electronegatividad; siendo las dos últimas la cuantificación y la cualificación de la capacidad de combinación química. También se menciona el libro de 1874 de Josiah Parsons Cooke, *Principles of Chemical Philosophy*, en el cual se argumentaba que la nueva teoría de la estructura no podía explicar la diferencia entre ácidos, bases y sales sin recurrir a la electronegatividad. Esta propiedad no sólo explicaba la diferencia entre un ácido y un álcali fuertes, sino que implicaba que éstos eran los extremos de un continuo de posibles derivados del agua (o hidratos), en los cuales disminuía progresivamente la alcalinidad y la salinidad, de los extremos hacia el centro. Jensen también explica con algunos ejemplos cómo se va perfilando la electronegatividad en la química orgánica durante la década de 1870. El autor concluye que una razón para que Pauling no escribiera una definición explícita de electronegatividad en su artículo de 1932, pudo haber sido que suponía que sus lectores ya sabían a qué se refería, pues el concepto en sí ya tenía más de 120 años y su versión moderna, en términos de habilidad del átomo para atraer y retener electrones de valencia, tenía casi 30 años.

El texto de Jensen (2012), E101, aunque publicado casi 10 años después del anterior, se puede leer como una continuación de aquel. Se muestra que aunque Pauling tuvo más éxito que otros, no fue el primero en cuantificar la electronegatividad; y se citan diversas escalas

publicadas antes del artículo de Pauling de 1932. La escala de Worth Rodebush, que representa la electronegatividad como una función de V/S (número de electrones de valencia/número de niveles de energía) se basa en propiedades fundamentales atómicas y tiene una fundamentación teórica clara (es primaria), mientras que la de Pauling se basa en una correlación empírica de una propiedad macroscópica con la electronegatividad, sin justificación teórica (es secundaria).

En la trilogía de Salas-Banuet y colaboradores (E163, E164, E165) se plantea una primera parte en la que se aborda el desarrollo de la conceptualización desde las escalas cualitativas de acidez y de “*oxigenidad*” hasta la escala cuantitativa de Pauling. En la segunda parte se comparan diversas escalas que se han diseñado con pretensión de escala universal sin lograrlo. Y en la tercera parte se compilan trabajos que, en conjunto, dan una visión global de los diversos enfoques, fundamentos, definiciones y métodos usados para cuantificar y valorar la electronegatividad. Los autores sustentan la validez de este trabajo en que aún hay preguntas sobre la naturaleza de la electronegatividad que siguen sin respuesta y no hay acuerdo en su significado físico ni se ha aceptado una definición universal. Además, muchos libros de texto siguen usando sólo las definiciones de Pauling y Mulliken y algunos muestran incoherencias al respecto.

En la tercera parte, E164, se plantean diversas consideraciones que nos interesa señalar aquí: No existe una escala que acierte el 100%, cada escala se relaciona mejor con una aplicación específica. No se ha podido dar un significado absoluto a la electronegatividad y no ha sido posible definirla como una propiedad; para algunos se trata de un concepto o entidad no observable, no medible, y por esto se ha intentado hacer que dependa de diferentes parámetros atómicos estructurales, lo cual es inadecuado según los autores. Finalmente, se considera que la prueba principal de una escala de electronegatividad debe ser su ajuste a la realidad, es decir, su capacidad de predicción.

6.2 *Carácter metálico*

Los tres artículos de esta categoría ya los hemos reseñado en categorías anteriores. E81 y E208 están agrupados con los que tienen como objetivo periférico el formato de la tabla periódica y se refieren a “*otras relaciones entre elementos*”, y E97 también lo citamos con los que tratan el formato como objetivo periférico, pero lo hemos agrupado entre los que usan el formato para optimizar relaciones.

3.3.2 Artículos con propuestas

En este apartado hemos clasificado los artículos de la muestra que proponen alguna actividad específica, alguna herramienta para trabajar en clase o algún otro tipo de recurso como revisiones bibliográficas, reseña de páginas web, etc. En este grupo están todos los artículos de la muestra que no están en el grupo de “artículos teóricos”. La clasificación está dividida en dos partes: en la primera parte clasificamos los artículos según el tema o contenido que se espera que aprendan los estudiantes al realizar la actividad propuesta, considerando los núcleos conceptuales que identificamos en los artículos “teóricos”, y en la segunda parte clasificamos los artículos según el tipo de actividad.

La primera parte presenta los siguientes grupos de artículos: los que tienen como objetivo didáctico el concepto de elemento (de manera central o periférica), los que tienen como objetivo didáctico un formato concreto o varios formatos de la TP, los que tienen como objetivo didáctico la explicación de la periodicidad, y por último, los que tienen como objetivo enseñar algún tema relacionado con el desarrollo y la aceptación del SP. Estas categorías fueron seleccionadas a partir de las que emergen de los artículos teóricos, con el fin de establecer una comparación entre las dos partes de la muestra.

En la segunda parte, encontramos artículos que proponen juegos; artículos que plantean otros tipos de actividades (no consideradas como juegos); artículos que presentan análisis de libros de texto; y artículos que hacen revisiones, reseñas y otros tipos de propuestas diversas.

Primera parte: Clasificación según el contenido (1. concepto de elemento, 2. formato de tabla periódica, 3. explicación de la periodicidad, 4. desarrollo y aceptación del SP)

1 Concepto de elemento

Los artículos que proponen actividades para el aprendizaje del concepto de elemento están clasificados en dos grupos: aquellos en los que el concepto es el objetivo central y aquellos en los que es un objetivo periférico aunque necesario para lograr otro objetivo central.

1.1. Objetivo central	1.1.1. Énfasis en SP	E46, E51, E53, E124, E177
	1.1.2. Sin énfasis en SP	E14, E16, E30, E126, E128, E190
1.2. Objetivo periférico	1.2.1. Aprendizaje general de la TP	E47, E56, E77, E181
	1.2.2. Relación micro-macro	E176, E179, E225
	1.2.3. Otros	E1, E155

Tabla 9. Actividades sobre el concepto de elemento

1.1 El concepto de elemento como objetivo central

El concepto de elemento es el objetivo central de 11 artículos que están repartidos en dos grupos: los que tratan el concepto haciendo énfasis en el contexto del SP y la TP, y los que tratan el concepto de elemento sin relacionarlo con el SP o la TP.

1.1.1 Énfasis en el sistema periódico

En E46, Franco y Oliva (2013a) proponen una secuencia didáctica basada en juegos y actividades lúdicas que desarrollan con dos grupos de estudiantes de 4º de ESO. Según los objetivos que proponen, algunas de las actividades están diseñadas para que los estudiantes aprendan a justificar las propiedades de los elementos en función del número de electrones de valencia. Se hizo un seguimiento permanente y se usaron algunos cuestionarios, el diario del profesor y el portafolio del alumno. No se informan resultados en cuanto al aprendizaje del concepto. Se afirma que los juegos didácticos pueden ayudar a que los estudiantes tengan “... avances importantes en el aprendizaje de contenidos y procesos de carácter rutinario o memorístico [...] No obstante, los logros alcanzados son mucho más modestos en el caso de contenidos que exigen un aprendizaje más profundo...” (2013a, p. 65-66).

En E51 (Franco-Mariscal y Oliva-Martínez 2013b) y en E53 (Franco-Mariscal, Oliva-Martínez y Almoraima 2015b), se registra una comparación entre las ideas que tienen los alumnos sobre los EQ y su clasificación, antes y después del bachillerato. En E51 se propone la definición de EQ de la IUPAC como referencia, que se centra en la idea en la identidad nuclear. Se abordan seis dimensiones: diferencia entre elemento y compuesto, identificación de elementos metálicos y no metálicos, la universalidad de los elementos y su identidad nuclear, partículas constituyentes del átomo, identificación de los elementos en el entorno inmediato y la identificación de propiedades de elementos que pueden diferenciarlos o hacerlos semejantes a otros. Los resultados muestran una discreta

evolución en la comprensión de la noción de elemento químico y su clasificación en general, pero hay diferencias en los resultados según el tipo de pregunta: las que requieren conocimiento declarativo o aplicación directa de lo aprendido revelan más progreso que las que exigen un conocimiento más elaborado, como la aplicación de inferencias en contextos novedosos, por ejemplo; incluso en algunas de éstas últimas se nota cierto retroceso.

Los resultados reportados en E53 también muestran una discreta progresión en general, pero esta vez la evolución fue más significativa en aspectos de alto nivel cognitivo (análisis, síntesis y evaluación) que en aspectos de bajo nivel cognitivo (retención, comprensión o aplicación) correspondientes a las preguntas con más impacto en el concepto de elemento químico. El cuestionario de esta investigación tiene las mismas preguntas que el de E51 pero se agregan otras; es más detallado y se describe el proceso de validación. Como conclusión, se afirma que para lograr una mejor progresión en el conocimiento de los estudiantes se deben diseñar y aplicar métodos de enseñanza más creativos y estimulantes.

En E124, Linares (2005) evidencia que los profesores suelen abordar la enseñanza de la tabla periódica de diversas maneras (desde el estudio de las sustancias, desde la historia o desde la estructura atómica) y que *“la clave de estas diferencias y, a la vez, de la comprensión de la Tabla Periódica, es el concepto de ‘elemento’”* (2005, p. 1). Para determinar los perfiles, Linares caracterizó la función que cada profesor asigna a la tabla periódica (función didáctica, función organizativa y función macro) y su visión de elemento químico (como sustancia, como símbolo o átomo y como indefinida). Correlacionando estas dos taxonomías caracterizó tres perfiles: un perfil que destaca la ley periódica y estimula la acción de pensar (función didáctica y elemento como sustancia), un perfil que destaca la tabla como inscripción y estimula el lenguaje (función organizativa y elemento como símbolo) y un tercer perfil que relaciona lo macro con lo micro a través del sistema periódico y prioriza el hacer (función macro y visión de elemento indefinida).

En E177 Schmidt et al. se centran en intentar *“...to understand the logic of students’ difficulties”* en la comprensión de los conceptos de isotopía y alotropía (2003, p. 259), así como en su relación con la tabla periódica. El instrumento de análisis se basa en que tales dificultades pueden estar relacionadas con la interacción entre los conceptos y sus etiquetas, que cuando no es adecuada favorece la superposición de interpretaciones antiguas (a nivel fenomenológico) y actuales (a nivel de partícula). Los resultados indican que la

interpretación del símbolo, que se refiere al átomo del elemento en la tabla periódica, se usa en paralelo con la interpretación del símbolo que se refiere a la sustancia. En las conclusiones señalan que la investigación basada en el dominio específico proporciona un patrón que se debe tener en cuenta en las teorías del aprendizaje en química: “*Chemical concepts that have undergone a shift of meaning are likely to cause trouble*” (2003, p. 272).

1.1.2 Sin énfasis en el sistema periódico

En E14, se propone una secuencia didáctica en que el autor se propone, a partir de la síntesis y la descomposición de sustancias en el laboratorio, “... *conjuntar un enfoque indagativo experimental con un proceso de modelización en los dos niveles, el macroscópico y el submicroscópico...*” (Caamaño 2011, p. 45). Caamaño plantea la polisemia del término *elemento químico* y recomienda que se use la etiqueta *sustancia elemental* en el nivel macroscópico y la etiqueta *elemento* para el nivel submicroscópico (átomos del mismo tipo). Este artículo también considera los tres niveles de conceptualización, dos de manera explícita, como se ve en la cita, y el nivel simbólico con hacer la diferenciación.

En la introducción de E16 (Caetano da Rocha y Cavicchioli 2005) se hace explícita la dificultad que tienen los estudiantes para reconocer el carácter discontinuo de la materia y la relación entre los conceptos de *átomo*, *elemento químico* y *sustancia simple*; que se refuerza con las diversas definiciones, a veces contradictorias, que se presentan en los libros de texto. La actividad se centra en la construcción de modelos de moléculas con cuentas de collar, de colores y tamaños diferentes, que representan cada uno de los átomos. Se pretende hacer evidente para los alumnos el vacío que hay dentro de las moléculas y la diferencia entre la composición atómica de una molécula de una sustancia simple (formada por el mismo tipo de cuentas) y la de una molécula de sustancia compuesta.

En el artículo E30, Castro et al. (2012) plantean el problema que conlleva el uso de los términos *sustancia simple* y *elemento* como sinónimos, que son conceptos estructuradores de la química. Se plantea la importancia del contexto en el aprendizaje y se propone una secuencia didáctica para estudiantes que viven en una zona donde la agricultura representa la actividad económica central. La secuencia se estructura a partir de una situación problemática concreta que podría afectar los intereses de los habitantes en el plano agroeconómico. También se usan cuentas de collar con base en la propuesta del artículo anterior para que los estudiantes comprendan la naturaleza discontinua de la materia y

puedan diferenciar entre los términos *sustancia simple* y *elemento*. La propuesta se centra en las definiciones referidas al nivel submicroscópico: elemento químico es “...*um tipo de átomo ou o que caracteriza um átomo*” y “*substância simples sendo definida como formada por átomos de um mesmo elemento químico...*” (2012, p. 76)

En E126 (López, Dulce y Furió-Mas 2005) se propone una investigación que parte de la hipótesis de que la introducción de las definiciones de elemento químico, sin tener en cuenta la evolución de los modelos históricos, promoverá visiones deformadas de la ciencia. Se espera encontrar dicha introducción de definiciones conforme la cronología de la construcción histórica de tres modelos (en el mejor de los casos), sin advertir que cada definición corresponde a un modelo diferente y que no se pueden yuxtaponer. La secuencia esperada es: definición operacional de elemento como sustancia simple, definición ontológica como conjunto de átomos de la misma clase y, en bachillerato, el elemento asociado al número atómico como magnitud fundamental del modelo cuántico del átomo.

Mans i Teixidó (2009) plantea en E128 la pregunta “*Quin és l'element del qual hi més àtoms al planeta Terra?*” (pregunta que acostumbra a hacer en la clase). A continuación describe las típicas respuestas y cómo va conduciendo la argumentación para aclarar la ambigüedad de los conceptos de *átomo* y *elemento*. Destaca que uno de los problemas principales se debe a la diversidad de tipos de información que hay detrás del símbolo de un elemento. Con el hierro como ejemplo, explica la diferencia entre las diversas realidades etiquetadas con la palabra *elemento hierro*, o *hierro*. Después plantea otra dificultad que se suele dejar de lado: el nivel intermedio entre un átomo de un metal, por ejemplo, y un trozo de dicho metal; es decir, la cantidad más pequeña de átomos que se pueda considerar *crystal* del metal y que tiene propiedades diferentes a las de un “trozo” de metal. Se plantea el tema de la alotropía, con el carbono como ejemplo. Finalmente, el autor señala que la TP se diseñó pensando en unas realidades macroscópicas y actualmente se usa pensando tanto en éstas como en otras realidades diferentes, las cuales pueden explicar las primeras.

Stains y Talanquer (2007) comparan, en E190, las concepciones de estudiantes novatos y de expertos sobre el tipo de sustancias que representan fórmulas como A_2 (genérica) y F_4 , a partir de preguntas basadas en la representación icónica de partículas. Los resultados revelan patrones generales de razonamiento en los dos colectivos. Los entrevistados se centran más en las características estructurales para categorizar las sustancias que en la

composición, de manera que es más importante lo que comparten A_2 y AB (más de un átomo), que lo que comparten A_2 y A (el mismo tipo de átomo), lo cual revela una fuerte asociación entre compuesto y molécula. Los expertos tienen verdaderas concepciones alternativas sobre elementos y compuestos, y esto lleva a los autores a preguntarse si lo que se enseña en los cursos de química “... *is truly related to the actual ways in which concepts and ideas are used by practitioners in the field*” (2007, p. 883).

1.2 Como objetivo periférico

En esta categoría agrupamos 9 artículos que tratan el concepto de elemento pero no como objetivo principal, sino como objetivo periférico. Los hemos clasificados en tres grupos según su objetivo central: los que hacen una propuesta dirigida al aprendizaje de la tabla periódica en general, los que tratan de manera explícita la relación entre los niveles atómico (o subatómico) y macroscópico, y los que tratan otros temas.

1.2.1 En el aprendizaje general de la TP

Los cuatro artículos de este grupo presentan propuestas para enseñar la tabla periódica en forma general aunque con énfasis diferentes. En E47 y E56 se proponen entrevistas a expertos, en E77 se plantea una propuesta general de introducción de la tabla periódica y en E181 se describe una colección de objetos para la construcción de una tabla periódica de exhibición.

En E47 (Franco-Mariscal, Oliva-Martínez y Bernal-Márquez 2009) se entrevistan profesores e investigadores y se les pregunta sobre algunos aspectos claves de la enseñanza de la periodicidad en general, ya sea por su importancia intrínseca o por su dificultad; entre dichos aspectos está el concepto de elemento, que presenta dificultades debido a la doble acepción que es “... *interpretable desde el punto de vista de una sustancia real, o desde la óptica de un componente ideal de los compuestos químicos de los que forma parte*” (2009, p. 56).

En E56 (Franco-Mariscal y Oliva-Martínez 2013c) también se presenta una entrevista a profesores e investigadores en la que se les pregunta por los contenidos que se deben enseñar en ESO. Se describe la investigación, se analizan los resultados y se presentan diversas “*propuestas de secuenciación de contenidos*”(2013c, p. 50). El concepto de elemento no aparece de manera explícita como algo que los alumnos deben aprender, sino que lo más

importante al respecto es que se deben familiarizar con las propiedades “...*físicas de los elementos... y ... químicas de los compuestos*” (2013c, p. 45) y su presencia en la vida diaria. Se reporta una preferencia por las propiedades periódicas macroscópicas que por las atómicas, aunque algunos expertos proponen un acercamiento inicial al modelo de capas del átomo.

En E77 (González 2013b) se hace un recuento histórico desde Mendeleiev (y algunos antecesores) hasta Seaborg, y se propone una secuenciación de ideas para introducir la tabla periódica con alumnos que comienzan. Las ideas principales de esta secuenciación son: los elementos como unidades fundamentales de la materia (metáfora de las letras del alfabeto), los átomos que los forman, con núcleo, electrones internos y electrones externos que son los responsables de las propiedades y, finalmente, la gran cantidad de compuestos que se pueden formar con tan pocos elementos. La historia se presenta como un complemento para aumentar la motivación. La idea principal del artículo es que como la TP es útil para ordenar y sistematizar los conocimientos, y ella misma no aporta la información suficiente para aprender química, es más útil cuanto más se sabe de química; es decir que la TP es una herramienta para usar cuando ya se sabe química.

En E181 (Segura, Valls y Martí 2010), se describe una colección de objetos que los autores han ido consiguiendo y clasificando según el material del que están formados, para construir una “*taula periòdica real*”. Los autores comienzan el texto explicando que el momento de enseñar el concepto de EQ y la TP siempre ha comportado dificultades y que por ello tuvieron que consensuar algunos conceptos antes de empezar a elaborar la colección. Estos conceptos, que definen en el artículo, son *sustancia simple, elemento químico y átomo*, entre otros. La definición de elemento que usan como referencia es la que se refiere la acepción simbólica: “... *entitat abstracta exempta de propietats físiques o químiques macroscòpiques.*” (2010, p. 24).

1.2.2 En la relación micro-macro

En estos tres trabajos, el concepto de elemento se usa como una idea importante en la relación entre el nivel fenomenológico de las sustancias y el nivel atómico.

En E176 (Schmidt 2000) se analizan algunos términos clave cuyo significado ha ido cambiando con el tiempo, que muchas veces se usan de forma paralela y que por ello pueden generar concepciones alternativas. Los términos que se revisan son:

oxidación/reducción, neutralización, reacción química y tabla periódica de los elementos. Sobre la última, que es la que nos interesa ahora, se cuenta que Lothar Meyer organizó los elementos químicos en 1870 con base en las propiedades macroscópicas y que la TP que usan los químicos actualmente, aunque refleja su significado original, se basa en las propiedades atómicas. El artículo concluye que en todos los conceptos analizados hay un patrón al pasar del concepto antiguo al concepto actual: pasa de nivel macroscópico a nivel de partícula.

Por su parte, Schwarz (2010) en E179, señala los problemas de usar los átomos libres en el vacío como únicos referentes para enseñar el orden de llenado de electrones al construir las configuraciones electrónicas. Este tipo de átomos, agrega el autor, son útiles en muy pocos ámbitos de la química. Insiste en tener en cuenta que los átomos enlazados, que son los que forman las sustancias macroscópicas y los que más se usan en química, no obedecen exactamente a la regla de Madelung, que es la que se enseña generalmente en los libros de texto y que muchos químicos toman como prototipo. Se proponen diversas fórmulas de llenado de electrones para cada zona de la tabla periódica. Para sustentarlo y diferenciar entre átomos individuales en el vacío y átomos enlazados, también diferencia entre átomos que forman sustancias químicas compuestas y los que forman sustancias elementales alotrópicas. Al final afirma: *“One need no longer apologize for irregularities”* (2010, p. 447).

En E225 (Yin y Ochs 2001), se propone una secuencia para trabajar el mol, la tabla periódica y la los números cuánticos como ideas esenciales de la química. Lo más característico de este artículo es que propone enseñar el mol de manera explícita en concordancia con la tabla periódica, abordando ésta desde los fenómenos macroscópicos. Plantea que se empiece pensando con moles, asumiendo que un conjunto muy grande de átomos de hidrógeno pesa un gramo y tomándolo como referencia. Se introduce la TP con masas relativas, que vienen de la idea de mol, como criterio primario, y las reactividades estudiadas experimentalmente como criterio secundario. Después se relaciona la tabla periódica con las configuraciones electrónicas.

1.2.3 Otros

Los siguientes artículos tienen objetivos que no comparten con los anteriores pero ambos presentan el concepto de elemento como parte importante para alcanzar otro objetivo. En E1 y en E155 se presentan sendos análisis de libros de texto.

En E1 (Agudelo, Marzábal y Izquierdo-Aymerich 2009) se hace una relación entre los tipos de narrativas y la perspectiva con la que se aborda la tabla periódica en los libros de texto. Cada una de las narrativas está caracterizada por un modelo de ciencia, un modelo de lector, un modelo didáctico y una visión de elemento químico. La narrativa asociada a una ciencia afirmativa dogmática, que se dirige a un lector distante con un estilo transmisor, está asociada a una visión del elemento como átomo. La narrativa asociada a un modelo de ciencia problemática, que se dirige a un lector activo con un estilo constructivista, está asociado a una visión del elemento como sustancia. La narrativa asociada a un modelo de ciencia afirmativa magistral, que se dirige a un lector distante con estilo transmisor, está asociada a una visión de elemento dinámica que relaciona las propiedades macroscópicas con las atómicas.

Raviolo, en E155 (2009), evalúa diversas definiciones y entre ellas la de elemento químico. En general, encuentra gran diversidad y ambigüedad en las definiciones de los libros de texto, y poca precaución al introducir la información histórica. Raviolo señala que los libros de texto usan diversas etiquetas para referirse a los elementos químicos: sustancia básica, unidad fundamental, entidad elemental, clase de átomos, etc. El autor cita las dos definiciones de la IUPAC (2006) y propone una: “*Un elemento químico es una clase de partículas con núcleos atómicos que poseen igual número de protones*” (2009, p. 318).

2 Formato de la TP

Los artículos de este grupo presentan alguna cuestión relacionada con el formato de la tabla periódica como objetivo central. Los hemos dividido en tres categorías: los que usan un formato alternativo, los que abordan la diversidad de formatos de la TP y los que usan el formato tradicional pero con la particularidad de que éste es esencial para la propuesta que hacen. Entendemos como formato tradicional el de forma media-larga, de 18 columnas, con los lantánidos y actínidos colocados fuera, en la parte inferior (IUPAC 2013).

2.1. Formato alternativo		E84, E138
2.2. Diversidad de formatos		E4, E10, E17, E80
2.3. Formato tradicional	2.3.1. Analogías	E59, E144
	2.3.2. Resaltar relaciones	E159, E203, E221

	2.3.3. Colección de sustancias	E132, E181, E202
	2.3.4. Uso especial	E11, E88, E91

Tabla 10. Actividades sobre el formato de la tabla periódica

2.1 Artículos que se basan en un formato alternativo

En E84 se usan los números triangulares y la simetría para proponer la construcción de una tabla periódica tridimensional, y en E138 se propone un juego de cartas y se recomienda el uso de la tabla periódica larga de 32 columnas (con los lantánidos y actínidos incorporados en el cuerpo de la tabla).

La importancia de la propuesta que se hace en E84 (Hennigan y Grubbs 2013), según los mismos autores, radica en su construcción más que en el resultado final. Se citan trabajos que aportan ideas al debate sobre la existencia de un formato mejor que los otros, e insisten que aunque se haya establecido en casi todos los libros de texto la forma diseñada por Mendeleiev (con algunos cambios), es importante desde el punto de vista pedagógico imaginar y construir formas alternativas. Hennigan y Grubbs aclaran que no ofrecen esta opción como reemplazo de “... *our modern two-dimensional periodic table of the elements*” (2013, p. 1007) porque el producto final no permite la visualización de toda la información, a la cual sólo se accedería desmontando las piezas, pero afirman que esta construcción favorece la familiarización con las reglas que generan los niveles y subniveles electrónicos. Además, señalan que esta construcción puede servir de motivación para los estudiantes que se interesan por la conexión con las matemáticas sencillas, incluso por el componente estético.

El juego y las variantes que se describen en E138 (Moreno, Hincapié y Alzate 2014), sobre los cuales volveremos más adelante, está centrado básicamente en la relación entre la valencia, el número atómico y la posición en la tabla periódica. Se recomienda el formato de 32 columnas que Karol (2002) denomina “*The Mendeleev-Seaborg Periodic Table*”.

2.2 Artículos que se basan en diversos formatos

Este grupo de artículos considerablemente diferentes en sus objetivos, bases teóricas, nivel escolar de aplicación, etc., proponen diversas formas de representar la ley periódica. En la actividad que presenta E4, los alumnos diseñan sus propios formatos. En E10 se proponen formatos que evidencian relaciones que quedan escondidas en los tradicionales. En E17, se

sitúa el debate de los formatos como aspecto importante en el análisis de libros de texto. Y en E80 se formula una secuencia didáctica en la que una de las actividades aborda las representaciones tridimensionales.

En la propuesta de E4 (Anta 2013) se describen los diversos diseños de tabla periódica que produjeron los alumnos: pirámides, esferas, círculos, etc. El objetivo no es discutir el formato tradicional, pero subyace de la idea de que distintas formas de la tabla periódica pueden evidenciar diversas relaciones entre elementos.

En E10 (Bent y Weinhold 2007), los autores sustentan la propuesta preguntándose cuáles son las características de la valencia electrónica y del enlace que se deben hacer evidentes en una representación gráfica de la periodicidad química. En respuesta a esto se describen algunos patrones y se señala en cuál representación quedan más evidentes. Argumentan que el formato tradicional es poco óptimo para enseñar la lógica electrónica subyacente en la periodicidad química. Finalmente, se concluye que esto se exhibe mejor en formatos del tipo *escalón izquierdo*, y que las diversas formas alternativas de representación pueden aportar “*fresh energy*” (2007, p. 1146) al asunto de las representaciones y mejorar la consistencia pedagógica en cuanto a los principios que gobiernan el comportamiento electrónico.

El instrumento utilizado en E17 (Camacho, Gallego y Pérez 2007) para analizar los libros de texto consta de tres categorías, una de las cuales está determinada por los “*Modelos científicos como categoría epistemológica para dar cuenta de la química como ciencia*” (2007, p. 282) y uno de los criterios que incluye esta categoría es “*Diferentes propuestas de la tabla periódica, como modelo icónico de la Ley Periódica*”. Los resultados muestran que de 12 libros analizados, 6 no las mencionan, 3 apenas las mencionan y sólo 3 las mencionan satisfactoriamente. Además se encuentra que los libros evaluados sólo presentan la tabla creada por Seaborg, con la etiqueta de “*tabla periódica moderna*”. Se señala que en la investigación persiste la reflexión sobre cuáles son las formas más ordenadas, sistemáticas y precisas de representar gráficamente los conceptos fundamentales de la química.

La secuencia didáctica de E80 (Gutiérrez 2003) trata el estudio cronológico del descubrimiento de los elementos, relacionando las épocas con las técnicas disponibles: el fuego, la metalurgia, el uso del vidrio, la batería y la electrólisis, el electroscopio y el mechero, los reactores nucleares, etc. Se pide a los alumnos que comparen el número de

elementos conocidos en cada período y establezcan relaciones con las técnicas disponibles para formular una hipótesis que explique los cambios de ritmo encontrados. La última actividad es una clase sobre el significado de la tabla piramidal propuesta por Jensen, con el objetivo de que los alumnos conozcan alguna de las representaciones tridimensionales del sistema periódico y comprendan que la explicación de la simetría de la ley periódica es una tarea pendiente para la mecánica cuántica.

2.3 Artículos en los que es importante el formato tradicional

Los siguientes artículos se caracterizan porque el formato (tradicional) es importante en las actividades que proponen. Unos lo aprovechan para hacer analogías, otros para exponer colecciones de sustancias, otros sugieren algunas modificaciones para resaltar determinadas relaciones, y los otros hacen algún uso especial de las casillas de los elementos.

2.3.1 Analogías

Los dos artículos que citamos en este apartado aprovechan el formato de TP para construir una analogía con el calendario mensual. De hecho, en E59 (Franco-Mariscal, Oliva-Martínez y Almoraima 2015a) se cita la actividad explicada en E144 como uno de los juegos enlistados, pero no se describe. En este trabajo se reportan las percepciones de estudiantes sobre juegos relacionados con la TP y los EQ; y en E144 (Oliva-Martínez 2010) se analiza el carácter modelizador del trabajo activo de los alumnos en la construcción de la analogía. La analogía del calendario, construida por los alumnos bajo la dirección de los profesores, presenta las siguientes relaciones: días-elementos, semanas-períodos, días de la semana-grupos o familias, rutinas de cada día de la semana-propiedades de los elementos. Los resultados muestran que los alumnos captan más las similitudes estructurales (filas y las columnas) que las funcionales (clasificación en grupos con atributos compartidos).

2.3.2 Modificación de algún formato para resaltar relaciones

Entre las propuestas de modificación del formato tradicional para resaltar relaciones, encontramos las siguientes: un esquema en el que se pueden visualizar 8 tipos de relaciones mediante marcas de colores sobre la tabla periódica (E159); la relación entre los grupos de elementos y la época de su descubrimiento (E203); y unos cartogramas de difusión para visualizar la variación de las propiedades a través de la tabla periódica (E221).

Rodgers (2014) describe en E159 cómo se pueden resaltar, con un esquema en blanco de la TP y agregando íconos (flechas, recuadros de colores, etc.), conceptos que relacionan elementos como el principio de unicidad, las relaciones en diagonal, el efecto “par-inerte”, las tendencias metal-no metal, el carácter ácido-base en solución acuosa, el potencial de reducción, los enlaces $d\pi/p\pi$, y la ley periódica. El autor resalta la utilidad de esta herramienta, sobretodo para las generaciones de estudiantes actuales porque son más “visuales”.

El artículo de Thompson (2010), E203, es una carta para el número de la revista dedicado a los elementos químicos. En ella describe una actividad que solía hacer con sus alumnos: una línea del tiempo con las fechas de descubrimientos de los elementos, una agrupación por décadas y la posterior localización en la tabla periódica. Los patrones encontrados sorprendían a los alumnos, especialmente que la cantidad de descubrimientos de elementos de una misma familia disminuye con el tiempo. Pero la discusión más importante se centraba en que los estudiantes se dieran cuenta de la cantidad de factores que influyen en los productos científicos por ser productos humanos.

Los cartogramas de difusión descritos en E221 (Winter 2011) son herramientas estadísticas que consisten en deformar un mapa (en este caso las casillas de la tabla periódica) para visualizar valores relativos de datos cuantitativos. En un cartograma de difusión que representa la afinidad electrónica, por ejemplo, se ve una diferencia entre el tamaño de las casillas de los metales alcalinos y el de las casillas de los halógenos, que se aprecian mucho más grandes. Los esquemas que se muestran fueron realizados con un software de acceso libre en internet.

2.3.3 Artículos que describen una colección de sustancias

Los tres artículos de este grupo describen aspectos importantes para tener en cuenta al construir y exhibir colecciones de sustancias basadas en la tabla periódica. En dos de los artículos, E132 y E181, se describen colecciones concretas cuyos autores explican las experiencias particulares al formarlas y al usarlas. En E202 se dan algunos consejos y recursos para construir una colección de este tipo.

En E132, Marshall (2000) describe lo que contiene su set permanente de la “*elemental collection*”, en la *University of North Texas*, y algunas características de un set portátil que usa

para demostraciones. También describe la información que tienen las etiquetas de cada elemento, cómo consiguió algunas muestras y cómo las almacena según sus características. Explica algunas de las demostraciones que hace para enseñar sobre radioactividad, magnetismo, fluorescencia, fusión, análisis espectral y conducción de calor. El artículo presenta un esquema de tabla periódica en el que cada casilla tiene el nombre de los minerales relacionados con el elemento en cuestión.

La colección que se presenta en E181 (Segura, Valls y Martí 2010) ya la habíamos citado en la categoría del concepto de elemento. En este artículo se describe el contexto, los sitios donde ha sido expuesta, etc. Se dedica una parte a los conceptos más importantes: sustancia pura, sustancias simples, sustancias compuestas. Además de describir los objetos y las muestras de la colección, así como la información de cada caja, se explica cómo se usa en clase. Lo que nos interesa destacar aquí se refiere al formato: se enseñan diversas formas de tabla periódica, entre ellas *“la més vista i la que poca gent coneix”* (2010, p. 25), refiriéndose a la tradicional y a una de formato largo, dando a entender con una imagen que la primera es más cómoda de usar por su tamaño. Los autores explican que la mesa en la que se exhibe la colección está construida de tal manera que pueda adoptar dos formas *“... amb els elements de doble transició separats o integrats en funció del que es volgués explicar”* (2010, p. 26).

Como decíamos antes, el texto de E202 (Thomas 2009c) se centra más en consejos, la mayoría comerciales, para conseguir muestras y objetos necesarios para crear una colección de este tipo. Menciona sitios, físicos y virtuales, donde se pueden conseguir algunas muestras. Al final dedica unas líneas a las precauciones que se deben tener con determinadas sustancias.

2.3.4 Uso especial de las casillas de los elementos

Los siguientes tres artículos utilizan las casillas de cada elemento de alguna manera particular, ya sea por la información que contienen, como en E88, o por la manera de acceder a dicha información, como en E11 y en E91.

Bonifácio (2012), en E11, presenta una aplicación para teléfonos móviles inteligentes, el *QR-APTE*, que al leer un código QR, correspondiente a una casilla determinada de la TP, accede a un archivo de sonido con información sobre el elemento en cuestión. Es apto para personas con discapacidad visual y la respuesta del teléfono es mucho más rápida que

cuando se carga un video. Al comenzar se aborda el tema del formato, mencionando que desde que se concibió la tabla periódica se han publicado alrededor 700 versiones, y que actualmente está disponible tanto en el formato clásico de papel como en plataformas online. El autor también afirma que los teléfonos inteligentes ya son una poderosa herramienta en la enseñanza de la química que cambiará la manera de enseñar.

Izci et al. (2013) evalúan, en E91, las 10 tablas periódicas *online* más visitadas. Se considera la precisión de la información que proporcionan, la cobertura que tienen y los enlaces a otros recursos. Estos aspectos se compararon en cuatro elementos: un no metal (C), un gas noble (Ar), un metal (Au) y un elemento sintético (Pu). Se describe la investigación y se hacen recomendaciones útiles para los profesores. Se encuentra que ninguno de los portales proporciona una precisión de más del 70% y que 5 de ellos proporciona menos del 50%. Se señala que el diseño de las tablas periódicas ha cambiado durante la historia, que no existe una mejor que todas, sino que los profesores deben usar varias para enseñar porque todas tienen ventajas y desventajas. Se propone que este debate debe llevarse a las clases, para promover la argumentación sobre las ventajas y desventajas de diversas tablas, para ayudar a los estudiantes a comprender porqué los científicos no obtienen una única respuesta correcta a los fenómenos complejos. El autor cita estudios en los que se afirma que suele ser más efectiva la presentación de la TP cuando ésta no es la del libro de texto.

En E88, Holden y Coplen (2013) informan de la ConfChem, en la que se presentó la tabla periódica de isótopos de la IUPAC. Se explica la información que proporciona cada casilla: los isótopos de cada elemento, el número masa, la abundancia de cada uno, etc.

3 Explicación de la periodicidad

Los artículos clasificados a continuación son aquellos que, con alguna propuesta didáctica concreta, abordan la explicación de la periodicidad, o bien como objetivo central o bien como objetivo periférico. En este grupo encontramos seis trabajos que tratan el tema en relación con la teoría atómica y dos en relación con la configuración electrónica.

3.1. El SP y la teoría atómica	E12, E24, E29, E80, E178, E213
3.2. El SP y la configuración	E127, E179

electrónica	
-------------	--

Tabla 11. Actividades que tratan la explicación de la periodicidad

3.1 El sistema periódico y la teoría atómica

En los artículos E12 y E29 se reporta un análisis de libros de texto, en los otros cuatro (E24, E80, E178 y E213) se trabaja la explicación de la periodicidad en relación con la teoría atómica como parte de una unidad didáctica.

En E12, Brito et al. (2005) analizan libros de texto de química general. Usan un instrumento de análisis basado en aspectos históricos y filosóficos de la TP. Se formulan siete criterios de análisis, de los cuales nos interesa el 5 (sobre los otros volveremos después): “*Explanation of periodicity in the periodic table*” (2005, p. 95). Con este criterio se evalúa si los libros abordan la diversidad de interpretaciones sobre tal explicación. Se espera que los libros traten dos interpretaciones como mínimo, la generalización inductiva y la teoría atómica; porque durante el desarrollo del sistema periódico, el estudio de las propiedades experimentales interactuaba con una constante búsqueda de explicación de la periodicidad. Se concluye que los libros de texto suelen decantarse por la generalización inductiva desprovista de teoría.

En E29 (de Mattos et al. 2012) también se analizan libros de texto con base en el marco teórico compartido con E12. El criterio 5 dice: “*A explicação da periodicidade na tabela periódica é devida à teoria atômica*” (2012, p. 527). Los autores califican el criterio como “*satisfactorio (S)*” si un libro presenta dos interpretaciones alternativas como mínimo (generalización empírica inductiva y teoría atómica) o al menos menciona la controversia. Ninguno de los libros analizados obtiene “S” y sólo en uno se menciona una de las dos alternativas, la generalización empírica; los demás libros obtienen la calificación N (“*Sem menção*”). Se propone enseñar la TP paralelamente con el desarrollo de los modelos atómicos, para hacer una construcción conjunta de ellos.

En E24 (Criswell 2007) se critica el típico uso de las cartas en una clase para que los alumnos “sean Mendeleiev por un día”. La idea es buena pero generalmente está mal planteada, porque no es razonable esperar que en una sola clase se comprendan los mecanismos sofisticados de la TP. Se propone una secuencia de actividades que funcionan

como ciclo de aprendizaje FERA: “*focus, explore, reflect, apply*” (2007, p. 1141). La primera fase se realiza fuera de clase, con lecturas y búsquedas por internet. En la clase, después de hablar de la TP y sus finalidades, se hace una actividad de clasificación y ordenación con objetos de papel (círculos de colores diferentes con muescas y pestañas). Después se plantean las otras etapas, de manera que los alumnos vayan haciendo clasificaciones más complejas con sustancias elementales y propiedades químicas de elementos. Los resultados son positivos en cuanto a la comprensión de la periodicidad, sobretodo de las propiedades químicas.

La secuencia didáctica propuesta en E80 (Gutiérrez 2003), que ya habíamos citado en la categoría de formatos, aborda el sistema periódico desde el punto de vista de la teoría atómica. En las consideraciones didácticas, antes de proponer las actividades, se explica que el modelo atómico de Thomson, propuesto en 1904, ya explicaba la periodicidad antes que Bohr propusiera el primer modelo cuántico en 1913. Se explica que el físico danés se inspiró en el sistema periódico y dedujo las configuraciones electrónicas de las propiedades químicas y espectroscópicas y no de la mecánica cuántica.

En E178 (Schultz 2005) se presenta una secuencia de actividades para enseñar hechos químicos al mismo tiempo que la TP, mediante el reconocimiento de patrones y usando reglas simples. La base está en los números de oxidación del oxígeno y el hidrógeno, elementos con los cuales se contextualiza la actividad por su importancia en la Tierra. Se aprovecha el criterio de que unos óxidos con agua producen hidróxidos y otros producen ácidos. Se estudian las variaciones de fórmulas de óxidos, hidruros, sales, etc. Los enlaces y las cargas deberían emerger del conocimiento adquirido a partir de los compuestos y la variación periódica. Se pretende que los estudiantes resuelvan los problemas y después racionalicen las soluciones.

En E213 (Waldrip y Prain 2011), se aplica y evalúa una secuencia de actividades para estudiar cómo desarrollan los estudiantes las representaciones sobre iones monoatómicos en el contexto de tabla periódica. Se encuentran diversos niveles en las representaciones: la pura descripción (primeras habilidades simbólicas), el uso sintáctico de representaciones formales, el uso semántico y el uso retórico de éstas. Las representaciones iniciales generaron discusiones para transformarlas a partir de la interacción en las clases, en las cuales los alumnos mismos evaluaron criterios como la comprensibilidad, la concisión, la

convencionalidad, etc. Lo más importante es que la competencia representacional se va aprendiendo mientras se usa y se van transformando las concepciones sobre el papel de las representaciones en las ciencias.

3.2 SP y configuración electrónica

En E127 (Mabrouk 2003), se presenta un método para tratar la TP como una regla nemotécnica de construcción de las configuraciones electrónicas. Primero se explica qué significan los niveles, subniveles, orbitales, se introduce el diagrama de Aufbau, etc. Después, a partir de una tabla periódica en blanco, se van llenando casillas con caramelos, que representan los electrones, y que deben cumplir con las reglas establecidas. Se intenta que los alumnos reconozcan el patrón y construyan las fórmulas de llenado. La idea, más allá de trabajar la tabla periódica, es usar y desarrollar la capacidad de reconocer patrones.

En E179, Schwarz (2010) hace un llamado para enseñar las excepciones y evitar la costumbre de usar un único orden de llenado de orbitales para todos los átomos (regla de Madelung) que sólo describe las configuraciones de los átomos de los primeros elementos. El autor propone enseñar las diversas secuencias: una para los átomos de los primeros elementos, otra para los átomos de los bloques *d* y *p* cuando están enlazados y otra para los átomos de los metales de transición libres, neutros y en el vacío. El orden correcto para los metales de transición enlazados es el que se debería enseñar como general y el de átomos aislados como excepción.

4 Desarrollo y aceptación del SP

En este grupo de artículos, citamos los que se refieren al desarrollo del sistema periódico, a los criterios que se han considerado para aceptarlo y/o al estatus epistemológico de la ley periódica. Los hemos dividido en dos categorías: los artículos que discuten el carácter de ley, modelo o teoría de la idea de Mendeleiev y los que discuten si fueron más importantes las predicciones, las acomodaciones o las correcciones, en la aceptación de esta idea.

4.1. Carácter de ley, modelo o teoría	E12, E17, E29, E76
4.2. Predicciones, acomodaciones y correcciones	E12, E17, E29, E76

Tabla 12. Actividades sobre el desarrollo y la aceptación del sistema periódico

4.1 Artículos que discuten el carácter de ley, modelo o teoría

El análisis de libros de texto que hacen Brito et al. (2005) en E12, que ya hemos citado en apartados anteriores, también considera un criterio relacionado con el estatus epistemológico de la obra de Mendeleiev. El criterio 6, “*Mendeleev’s contribution: theory or and empirical law?*” (2005, p. 95), evalúa si los libros se refieren a la controversia existente entre los filósofos de la ciencia que cuestiona si el trabajo de Mendeleiev debe considerarse como una codificación, como una ley empírica o como una teoría explicativa o interpretativa. De 57 libros analizados sólo 5 lo mencionan y de manera superficial.

El análisis de libros de texto de Camacho et al. en E17, también ya citado, utiliza el criterio “*Contribución de Mendeliev: Ley, teoría o modelo científico*”, dentro de la categoría “*Modelos científicos como categoría epistemológica para dar cuenta de la química como ciencia*” (2007, p. 282). Ninguno de los textos analizados menciona “satisfactoriamente” este debate, ni siquiera para decantarse por alguna opción; ninguno presenta argumentos sobre los conceptos de modelo, ley o teoría, en el contexto de la ley periódica.

El otro trabajo que hemos mencionado antes, y que analiza libros de texto con base en un marco teórico similar, es el E29. Señalamos el criterio 6: “*Discussão acerca da natureza da contribuição de Mendeleev: ele propôs uma teoria ou uma lei empírica?*” (de Mattos et al. 2012, p. 527). Ninguno de los libros analizados menciona “satisfactoriamente” este aspecto; todos se posicionan en una de las opciones sin argumentar el porqué. La mayoría considera que se trata de un dominio ordenado o esquema de codificación y, para algunos, de una teoría interpretativa o con poder de explicación limitado.

Giunta (2001), en E76, señala los peligros de enseñar ciencia a partir de anécdotas históricas: se puede caer en adorar el héroe científico, creer ciegamente en un método, etc. Propone usar errores de científicos como recurso didáctico para contrarrestar tales peligros. Sugiere algunos casos como las teorías erróneas (el flogisto), o el “ver” un fenómeno donde se quiere “ver” (la luz y el calórico como sustancias simples), etc. Resaltamos el ítem que aborda el trabajo de Newlands como una de las “*Incoherent insights*” (2001, p. 626). El autor señala que la ley de las octavas fue una de aquellas ideas que, a pesar de producir resultados válidos y útiles, no se tuvo en cuenta por su inconsistencia; nadie intentó

apoyarla ni desacreditarla y, por lo tanto, no fue influyente. La propuesta de Newlands “*was not embedded in a coherent system that had either predictive or explanatory power*” (2001, p. 625).

4.2 Predicciones, acomodaciones y correcciones

Todos los artículos de este grupo, ya han sido citados en otras categorías. De E12, E17 y E29, hemos visto algunos de los criterios que usan para analizar libros de texto. Los criterios que están relacionados con esta categoría son diferentes en cada uno de los artículos. A continuación los citamos, pues son similares pero tiene matices importantes.

En E12, los criterios 1, 2, 3 y 4 son los siguientes, respectivamente: “*The importance of accommodation in the development of the periodic table*”, “*The importance of prediction (contraprediction) as evidence to support the periodic law*”, “*Relative importance of accommodation and prediction in the development of the periodic table*” y “*The role of novel predictions*” (Brito, Rodríguez y Niaz 2005, p. 94 i 95).

En E17, los criterios 1, 2 y 9 son, respectivamente: “*La importancia de la ubicación de los elementos químicos en el desarrollo de la tabla periódica*”, “*La importancia de la predicción como apoyo de la Ley Periódica*”, “*Verificación y corrección de las propiedades Periódicas estudiadas para la formulación de sistemas periódicos*” (Camacho, Gallego y Pérez 2007, p. 282).

En E29, los criterios 1, 2 y 3 son: “*Importância da acomodação dos elementos na tabela periódica*”, “*A importância da previsão como evidencia para apoiar a lei periódica*”, “*Importância relativa da acomodação e da previsão no desenvolvimento da tabela periódica*” (de Mattos et al. 2012, p. 525 i 526)

Los tres estudios obtienen resultados similares en cuanto a la importancia de la ubicación de los elementos en la tabla periódica; la mayoría de libros la menciona “satisfactoriamente”, pero hay diferencias en los resultados sobre la importancia de las predicciones y sobre la importancia relativa entre ellas, que no se evalúa en E17.

Por otra parte, en el trabajo de Giunta que citamos antes (E76), al considerar la ley de las octavas en la categoría de “*incoherent insights*”, y usarlo como ejemplo de un tema con potencial didáctico sobre el funcionamiento de las ciencias, el autor argumenta que la falla

de Newlands no fue haber hecho predicciones equivocadas, porque Mendeleiev también se equivocó en algunas, sino el no haber construido un sistema coherente.

Segunda parte: Clasificación según el tipo de actividad (1. Juegos, 2. Otras actividades, 3. Análisis de libros de texto, 4. Revisiones, reseñas y otras propuestas)

1 Juegos

En esta categoría recogemos todos los artículos que plantean actividades que los autores proponen como juegos o actividades lúdicas. Hicimos una primera clasificación para separarlos por niveles: ESO y bachillerato, o sus equivalentes en edad de otros países; y descartamos los artículos que proponen juegos diseñados para niveles universitarios.

1.1. ESO	1.1.1. Familiarización símbolos	1.1.1.1. Deletrear con símbolos	E41, E44, E45, E49, E55, E83, E150
		1.1.1.2. Frases nemónicas	E145, E206
		1.1.1.3. Cartas y puzles	E183, E216
	1.1.2. Familiarización propiedades	1.1.2.1. Bingo y cartas	E9, E28, E52, E54, E105, E133, E167
		1.1.2.2. Preguntas tipo crucigrama	E15, E35, E85, E86, E106, E107, E217
		1.1.2.3. Adivinanzas	E27, E201
		1.1.2.4. Otros	E4, E184, E223
	1.1.3. Consolidación de conceptos sobre la TP	E39, E40, E46, E50, E59, E167	
	1.1.4. Construcción de concepto de periodicidad	E102, E118, E218	
	1.2.	1.2.1. Construcción del concepto de periodicidad	E102, E118, E218
Bachillerato	1.2.2. Relación entre propiedades	E138, E167	

Tabla 13. Clasificación de los artículos que proponen juegos

1.1 Actividades para ESO o equivalente en edad

Entre los artículos que plantean juegos y actividades lúdicas para ESO encontramos trabajos que clasificamos en cuatro categorías: aquellos que tienen por objetivo que los alumnos se familiaricen y/o memoricen los símbolos y nombres de elementos químicos, aquellos que tienen como objetivo que los alumnos se familiaricen y/o memoricen propiedades de los elementos químicos, los que está diseñados para la consolidación de conceptos generales relacionados con la tabla periódica y los que tienen como objetivo que los alumnos construyan el concepto de periodicidad química.

1.1.1 Familiarización y memorización de símbolos

Los artículos de esta categoría están divididos en 3 tipos: actividades que usan los símbolos químicos para deletrear palabras, actividades que usan frases nemónicas con los símbolos de los elementos y actividades con juegos de cartas y puzles.

1.1.1.1 *Deletrear con los símbolos*

En estos trabajos se propone que los alumnos formen palabras o frases con los símbolos de los elementos químicos: los nombres de los estados de Brasil, en E41 (Franco-Mariscal y Cano-Iglesias 2009); implementos de laboratorio, en E44 (Franco-Mariscal 2008b); los estados mexicanos, en E45 (Franco-Mariscal y Cano-Iglesias 2008); frases en inglés, en E49 (Franco-Mariscal 2012); los huesos del cuerpo humano, en E55 (Franco-Mariscal y Cano-Iglesias 2011); animales, en E83 (Helser 2003). En E150 (Peña 2007) se propone un concurso en el que los alumnos deben formar frases con los símbolos de los elementos y se puntúan las frases sumando el número atómico de todos los elementos utilizados en cada frase.

1.1.1.2 *Frases nemónicas*

En E145 (Olive y Riffont 2008) y en E206 (Tomás 2012) se proponen frases nemónicas, o se pide a los alumnos que las inventen, para ayudarles a recordar los elementos de una zona determinada de la tabla periódica.

1.1.1.3 *Juegos de cartas y puzzles*

En E183 (Sevcik, Hicks, et al. 2008) se propone que los alumnos construyan dos barajas de 30 cartas cada una. En una, cada carta tiene el nombre de un elemento y, en la otra, un símbolo. En general, se trata de hacer corresponder el nombre de los elementos con su símbolo. En E216 (Welsh 2007) se proponen sudokus con símbolos químicos.

1.1.2 *Familiarización y memorización de diversas propiedades*

Entre los artículos que proponen juegos para ayudar a los alumnos a familiarizarse y/o memorizar algunas propiedades de los elementos químicos, encontramos cuatro variantes: los que proponen juegos de cartas o de tipo bingo, los que plantean preguntas como las de los crucigramas, los que usan adivinanzas y los que plantean otros tipos de juegos.

1.1.2.1 *Bingo y juegos de cartas*

En E9 (Bayir 2014) se presentan tres juegos, dos de cartas y uno con dados y fichas. Uno de los juegos de cartas está diseñado para ayudar a aprender el lugar de los elementos en los bloques *s*, *p*, *d* y *f* de la tabla periódica; y el otro para ayudar a aprender las propiedades de

los elementos de los bloques *s* y *p*. El tercer juego ayuda a aprender fórmulas de compuestos iónicos (con iones monoatómicos), símbolos de elementos y sus iones más comunes, algunas valencias, y el comportamiento inerte de los gases nobles.

En E28 (de Faria, Moisés y Codognoto 2010), se presenta un juego de cartas que permite hacer comparaciones de los elementos según sus propiedades y aprender la posición de éstos en la TP. Cada carta corresponde a un elemento y contiene las propiedades más importantes.

En E52 (Franco-Mariscal, Oliva-Martínez y Bernal-Márquez 2012a) se propone un juego de cartas que sirve para identificar sustancias elementales en la vida cotidiana, así como sus nombres, sus símbolos y algunos compuestos. Se sugiere que los alumnos elaboren sus propias cartas como parte de la actividad.

En E54 (Franco-Mariscal et al. 2010) se describe un juego similar al bingo pero con las tabletas en forma de tabla periódica y las casillas vacías. El objetivo es aprender los símbolos, las partículas constituyentes de los átomos, las relaciones entre número atómico y número másico, etc.

En E105 (Kavak 2012), se describe un juego similar al póquer que ayuda a identificar algunas tendencias periódicas y a identificar los elementos de los grupos y períodos principales. Cada carta tiene el nombre, el símbolo y los valores de diversas propiedades de un elemento.

El juego que se sugiere en E133 (Martí-Centelles y Rubio-Magnieto 2014) tiene como objetivo que los alumnos aprendan la posición de los elementos en la tabla periódica, identificando el grupo y el período. Aunque no es el objetivo principal, según los autores, la memorización es una consecuencia del juego.

En E167 (Saturnino, Luduvico y dos Santos 2013) se describe un juego de cartas similar al póquer para aprender diversos aspectos de la TP, principalmente la relación entre la configuración electrónica y la posición. Cada carta corresponde a un elemento y contiene algunas de sus propiedades.

1.1.2.2 Preguntas tipo crucigrama

En este grupo están los artículos que proponen algún diseño en el que se pide a los estudiantes que contesten diversas preguntas. En E15 (Cady 2012) se propone un crucigrama y las respuestas a las preguntas son los nombres de elementos. En E35 (Dkeidek 2003) y E85 (Hernández, Hernández, García, Miranda y Adriana Pérez 2006), se propone un puzzle que se resuelve formando una figura que resulta de unir, con líneas y en un orden determinado, los símbolos de algunos elementos que son las respuestas de las preguntas. E86 (Hernández, Hernández, García, Miranda y Pérez 2006) es la solución del puzzle de E85. En E106 y E107 (Kelkar 2002, 2003) se propone otro tipo de puzzle en forma de matriz y en E217 (Wieder 2001) se forman palabras con los símbolos que corresponden a las respuestas.

1.1.2.3 Adivinanzas

En E27 (Cunningham 2005) y en E201 (Thomas 2009b) se plantean preguntas de manera menos convencional. La respuesta no forma una figura ni una matriz, pero las preguntas son especialmente imaginativas y planteadas en forma de enigma.

1.1.2.4 Otros

Aunque ya habíamos mencionado a E4 (Anta 2013) entre los artículos que abordan el formato de la tabla periódica, lo citamos en esta categoría porque la actividad propuesta incluye el diseño de un juego por parte de los alumnos, que se corresponde con el formato diseñado. El artículo describe algunos de los juegos: juegos de preguntas, rompecabezas, etc.

El juego que se propone en E184 (Sevcik, McGinty, et al. 2008) consta del lanzamiento de pelotas de pingpong con velcro que se adhieren a un blanco en forma de tabla periódica. Los puntajes dependen de las casillas a las cuales se adhiere la pelota lanzada, coloreadas según la importancia biológica del elemento: si es tóxico, esencial, radioactivo, etc.

La actividad sugerida en E223 (Woelk 2009) propone un juego en el que se utiliza una animación con el mapa de los Estados Unidos. Con la pantalla expuesta a los alumnos, se hace clic sobre un estado determinado y aparece la foto de un elemento cuyo símbolo se

relaciona con el nombre del estado; con un segundo clic aparece el nombre, el número atómico, etc. Se pueden agregar todas las propiedades que se quiera.

1.1.3 Consolidación de conceptos relacionados con la TP

En E50 (Franco-Mariscal 2006) se propone un juego de lotería para usar después de las clases teóricas como actividad de aplicación, en las cuales se habría explicado la composición interna de los átomos y el concepto de isótopo. Se describen tres actividades. La primera sirve para practicar la relación entre número atómico y número de protones (o electrones en átomos neutros). La segunda actividad permite practicar el cálculo del número másico y la masa atómica relativa. La tercera sirve para practicar lo anterior en un único juego. Una persona va dictando la información correspondiente a átomos determinados (número de protones, o número atómico, o número másico, etc.) y los participantes deben ir llenando los cartones si la información dictada corresponde con los átomos que tienen marcados en sus tabletas.

En E39 (Franco-Mariscal 2008a) se describe un autodefinido con conceptos de distintos niveles. En los de niveles básicos se preguntan los nombres y los símbolos, pero en los de niveles superiores se piden cálculos de números de partículas nucleares, fórmulas de compuestos, configuraciones electrónicas, etc.

El mismo autor de los dos anteriores, en E40 (Franco-Mariscal 2014), describe un juego en el cual gana quien tenga más conocimientos, no sólo de nombres y símbolos, sino también sobre el número de partículas, la distribución electrónica, la regla del octeto, el carácter metálico, la posición en la TP, las tendencias periódicas, la presencia de los elementos en la vida cotidiana, etc.

En E59 (Franco-Mariscal y Oliva-Martínez 2013a) se describe el diseño de una unidad didáctica basada en juegos y estructurada en dos niveles de “*profundización*”. También se reportan resultados de evaluación, a partir de los cuales se acepta que “... *los logros alcanzados son mucho más modestos en el caso de contenidos que exigen un aprendizaje más profundo...*” (2013a, p. 66).

En E46, los mismos autores (Franco-Mariscal, Oliva-Martínez y Almoraima 2015a), evalúan una secuencia, también basada en juegos, y describen los resultados

detalladamente. Éstos son positivos pues se confirma que los estudiantes ven con buenos ojos el uso de juegos educativos y consideran que facilitan el aprendizaje aunque también opinaron que las instrucciones de algunos juegos fueron difíciles de entender. La principal limitación de este estudio, señalada por los autores, es que los resultados se basan sólo en la percepción de los estudiantes, que respondieron desde su propio punto de vista.

Finalmente, en E167 (Saturnino, Luduvico y dos Santos 2013) se presenta un juego de cartas, similar al póquer, para practicar el conocimiento de la relación entre la información del nivel de valencia y la posición en la tabla periódica.

1.1.4 Construcción del concepto de periodicidad

Wiediger (2009), en E218, describe el uso de un software que sirve para simular algunos de los juegos de cartas que se usan para enseñar la periodicidad. La diferencia es que el software puede hacer análisis de datos y puede seguir el proceso de razonamiento de los alumnos. Además se pueden estudiar tendencias periódicas de diferentes tipos, no necesariamente de propiedades de elementos sino también de formas geométricas, tamaños, colores, etc. La actividad reportada en el artículo se llevó a cabo con formas geométricas y después con propiedades; y se centró en la búsqueda de patrones y en la formulación de predicciones de objetos faltantes. Después de que los alumnos encontraron los patrones de periodicidad, se les mostró una “carta” que no encajaba, para que ellos mismos decidieran si habían de colocarla o descartarla, de acuerdo con los patrones que habían encontrado. Esto se aprovechó para hacer el paralelismo histórico con las sustancias que nunca encajaron en la tabla, por tratarse de compuestos, o con las que resultaron más problemáticas de encajar. También se discutió la inversión del potasio y el argón para resaltar la importancia de los patrones como principio de organización. Se informa de algunas observaciones generales positivas sobre las posibilidades de esta herramienta.

En E118 (Larson, Long y Briggs 2012) se describe una actividad para detectar los modelos mentales que aplican los estudiantes y las heurísticas que siguen al buscar patrones de periodicidad. La actividad consiste en ordenar los elementos en la TP a partir del cambio de intensidad de colores de las casillas, además de los datos numéricos de propiedades. Los resultados muestran que los alumnos no reconocen fácilmente las tendencias periódicas al examinar los datos, ni siquiera la secuencia de masas atómicas. También se encontró que los estudiantes eligen diversas estrategias que dependen de sus conocimientos previos y de

los procesos de construcción de sentido que tienen disponibles. Otra conclusión importante es que el uso de determinadas habilidades no siempre se favorece con los conocimientos previos, porque los estudiantes pierden flexibilidad cuando sobrevaloran la influencia de un conocimiento determinado.

En E102, Joag (2014) propone y evalúa una actividad para introducir la TP. Se comparan los resultados del grupo que desarrolló la actividad con los de otro que recibió clase de forma tradicional. Se dio a los estudiantes una tabla periódica con las casillas en blanco; se les explicó el significado de los períodos, los grupos y las casillas. Las reglas para llenarla son: los elementos más ligeros tienen números atómicos más pequeños y los más pesados números atómicos más grandes; los elementos que tienen propiedades similares pertenecen al mismo grupo; las propiedades de los elementos varían gradualmente a lo largo de los períodos; en un período, los metales aparecen a la izquierda, los no metales a la derecha y los metaloides al centro. Los estudiantes del grupo muestra, a diferencia de los otros, llegaron a formular el enunciado de la ley periódica por ellos mismos.

1.2 Para bachillerato o equivalente en edad

Con los artículos que proponen actividades lúdicas para alumnos de bachillerato construimos dos categorías: los que están enfocados en la construcción del concepto de periodicidad y los que se dedican a una relación entre propiedades concretas.

1.2.1 Construir el concepto de periodicidad

En esta categoría volvemos a citar los trabajos E102, E118 y E218 de la categoría anterior, cuya dinámica se puede usar igualmente, adaptando los contenidos específicos.

1.2.2 Relación entre propiedades de elementos

El artículo E167 (Saturnino, Luduvico y dos Santos 2013) describe un juego de póquer que ya habíamos citado con las propuestas pensadas para la ESO, también se puede aplicar en bachillerato para afianzar la comprensión de la relación entre la información del nivel de valencia y la posición en la tabla periódica.

En E138 (Moreno, Hincapié y Alzate 2014) se describe un juego de cartas que ayuda a aprender la relación entre valencia, número atómico y símbolo de los elementos químicos.

2 Otros tipos de actividades

En este grupo citamos los artículos que propone algún tipo de actividad que no está considerada como juego o actividad lúdica. Tal como lo hicimos con los artículos anteriores, hemos separado los que están dirigidos al nivel de ESO y los que están dirigidos al nivel de bachillerato.

2.1. ESO	2.1.1. Familiarización propiedades	E26, E43, E146, E166, E199
	2.1.2. Clasificación	E42, E48
	2.1.3. Periodicidad	E61, E182
2.2. Bachillerato	2.2.1. Energía de ionización	E195, E196, E197, E198, E227
	2.2.2. Tamaño atómico	E37
	2.2.3. Valencia	E19

Tabla 14. Otros tipos de actividades

2.1 Para ESO o equivalente en edad

Los trabajos de este tipo los clasificamos en tres categorías: los propuestos para ayudar a los alumnos a familiarizarse y/o memorizar algunas propiedades de los elementos químicos, los que se centran la clasificación y descripción de objetos, y los que hacen énfasis en la periodicidad de las propiedades de los elementos químicos.

2.1.1 Familiarización y memorización de propiedades

En este grupo citamos un artículo que propone una actividad basada en narraciones y cinco que proponen consultas y/o exposiciones.

En E166 (Santos y Infante 2009) se presentan resultados de comparar los productos de dos grupos de estudiantes. Uno de ellos recibió una clase sobre la tabla periódica mediante la narración de historias, y el otro la recibió mediante una explicación “... bastante fragmentada y descontextualizada, valorizando apenas la explicación sobre la definición de conceptos, parecida con la organización de un texto de un libro didáctico” (2009, p. 911). A todos se les pidió que escribieran

una carta narrando lo que habían aprendido. Las cartas de los dos grupos mostraron diferencias significativas en aprendizaje y en motivación.

En E26 (Cuerva y Marco-Stiefel 2005) se presentan actividades que formarían parte de una unidad didáctica que se estaba diseñando en la fecha y que se basa principalmente en el seguimiento de noticias químicas. Se sugiere el portal web del *Lawrence Livermore National Laboratory*, en el que se podían seguir las incidencias del “... nacimiento de dos nuevos elementos químicos, el 113 y el 115...”(2005, p. 3). Las actividades girarían alrededor de este seguimiento y de lecturas de un dossier de prensa sobre los últimos elementos conocidos, de portales web con tablas periódicas, etc. La actividad final es una lectura sobre Lise Meitner, con el objetivo de resaltar el papel de la mujer en la ciencia.

En E43 (Franco-Mariscal 2007) se describe una actividad para 3 de ESO que ayuda a aprender los elementos y su presencia en la vida cotidiana. La actividad se divide en una parte “teórica” en la que los alumnos buscan información sobre la presencia de los elementos en sustancias y objetos cotidianos. En la segunda parte, cada alumno hace un dibujo de un entorno próximo señalando la presencia de elementos: la casa, el barrio, etc. Se concluye que “Este recurso didáctico con carácter innovador ha permitido la enseñanza-aprendizaje [...] significativa, funcional, grupal y divertida...”

En E146 (Oliveira, Diniz y Mendes 2013) se describe un proyecto presentado en una muestra de ciencias de una escuela de enseñanza básica de Río de Janeiro. Los alumnos identifican y exponen los resultados del contenido elemental (y de vitamina C) en los jugos de fruta, y hacen una entrevista a los asistentes de la feria, preguntándoles qué saben de la TP.

El texto de 199 (Tárraga y Bechtold 2011) propone que los alumnos consulten en internet los nombres de los elementos en dos lenguas, castellano y alemán en este caso, y los comparen. Posteriormente consultan el origen de los nombres. En el artículo se presentan los resultados de las búsquedas y de las comparaciones. Se concluye que este tipo de trabajo puede ser “... una agradable manera de aumentar el interés del alumnado por las asignaturas científicas...” porque acerca a los alumnos a “... historias menos académicas (o academicistas), pero no por ello menos humanas e interesantes” (2011, p. 112)

2.1.2 Clasificación

Franco-Mariscal (2005) presenta, en E48, una actividad dirigida a alumnos de 13-14 años, para investigar las principales dificultades y errores conceptuales que tienen al describir y clasificar objetos. Se les pidió que llevaran a clase 10 botones diferentes. En la clase se les pidió la descripción de los botones y que señalaran la mayor cantidad de propiedades posibles (color, textura, tamaño, etc...). Se les pidió que escogieran la propiedad que compartieran la mayor cantidad posible de botones; después, que escogieran las dos propiedades que compartieran la mayor cantidad posible de botones; después tres propiedades, y así sucesivamente hasta la cantidad que pudieran llegar. Se encontraron 3 métodos para clasificar: un método sistemático, otro al azar y uno combinando estos dos.

En E42 (Franco-Mariscal y Franco 2006) plantean una actividad semejante a la anterior, pero esta vez para alumnos de bachillerato, con el fin de conocer las capacidades descriptivas del alumnado. Los autores afirman que se pudo “... corroborar la capacidad investigadora del alumnado de bachillerato” (2006, p. 103) por el centenar de propiedades que usaron, y por las diversas estrategias que desarrollaron para comparar los botones mediante propiedades físicas (tiempo de caída libre, la flotabilidad, etc.) y químicas (composición y fórmula química, la combustibilidad, la reactividad con ácidos y bases, la facilidad para oxidarse, etc.).

2.1.3 Periodicidad

En E182 (Selco, Bruno y Chan 2013) se presenta una actividad cuyo objetivo es favorecer el aprendizaje de las ideas abstractas relacionadas con la TP mediante la manipulación de modelos concretos para activar el pensamiento visual-espacial. Los modelos constan de pelotas de pingpong, que representan los átomos, con un trozo de cuerda por cada electrón de valencia. El color de cada cuerda es diferente si representa un electrón apareado o desapareado. Las pelotas que representan átomos del mismo grupo son del mismo color y sólo se usan átomos de los grupos representativos. Se les entrega una bolsa con los modelos y, a partir de algunas pocas reglas, los estudiantes aprenden a formar compuestos atando los modelos entre las cuerdas permitidas. Para estudiar la periodicidad se colocan los modelos en las respectivas casillas de una tabla con los elementos representativos; se pide que busquen patrones teniendo en cuenta lo que acaban de aprender sobre la posibilidad que tienen los átomos para hacer moléculas. El método ha tenido éxito con

alumnos de diversas edades y se ha demostrado una comprensión real y sostenida con el análisis de resultados de pruebas estatales (en EEUU).

En E61 (García-Carmona 2006) se describe una propuesta didáctica para estudiantes de 14-15 años, centrada en la estructura electrónica, y se presentan los resultados de una investigación sobre las concepciones y dificultades. El instrumento busca identificar el nivel de aprendizaje alcanzado por los alumnos, los modos de razonamiento que usan, las concepciones alternativas que tienen y si existe estabilidad en las ideas y en los esquemas de razonamiento. En la prueba de evaluación que se usó como instrumento se pregunta sobre las siguientes relaciones: entre la neutralidad de un átomo y las partículas nucleares, entre la estabilidad y la configuración electrónica, entre el carácter metálico y la configuración electrónica. Los resultados muestran que es viable enseñar este tópico en la ESO, utilizando un modelo atómico pre-cuántico, al menos para que los alumnos reconozcan las estructuras y su relación con el comportamiento metálico de los primeros elementos. Las concepciones alternativas más relevantes son: confunden neutralidad con estabilidad (octeto), asocian comportamiento metálico con ganar o perder pocos electrones, y asocian los semimetales con la posesión de propiedades metálicas y no metálicas simultáneamente.

2.2 Para bachillerato o equivalente en edad

Este conjunto de artículos, que recoge los que proponen actividades para bachillerato, se puede dividir en tres grupos: los que abordan la periodicidad en relación con la energía de ionización, uno que trata el tamaño atómico y uno que aborda la valencia.

2.2.1 Energía de ionización

En E195, Taber (2003) estudia las concepciones alternativas de estudiantes de 16-18 años de Reino Unido sobre la energía de ionización. Se demuestra que los patrones de comprensión de este concepto dependen de cómo explican la fuerza y la carga eléctrica, que son prerrequisitos físicos para dar sentido químico al concepto de energía de ionización. Se encontró que en general los alumnos no usan correctamente los principios electrostáticos y no acoplan coherentemente los distintos factores que influyen. Se detectaron principalmente dos marcos alternativos: la fuerza se conserva y se reparte entre los electrones; y los niveles llenos siempre son más estables. Se advierte del riesgo de simplificar para enseñar porque se pueden perder de vista los principios fundamentales. No

se trata de reducir toda explicación química a los principios físicos, pues eliminaríamos categorías mentales que ayudan a comprender las ideas complejas de la química; pero se debe tener cuidado de que los alumnos no tengan la posibilidad de inventar principios alternativos que les funcionen con heurísticas desconectadas.

En E197 (Tan et al. 2005), se reporta la aplicación del mismo instrumento usado en el artículo anterior (E195), pero con estudiantes de Singapur. Se encuentran 11 concepciones alternativas sustentadas por marcos alternativos similares a los reportados en E195. Los estudiantes elaboran explicaciones usando sus herramientas, algunas científicamente válidas y otras no, pero fallan al no coordinar diversos factores simultáneos. Falta investigación para saber si la causa está en la enseñanza o la demanda es incoherente con las habilidades cognitivas. Se cuestiona la pertinencia de tratar este tópico con alumnos de 16-19 años.

En E196 (Taber y Tan 2007), los autores de los dos artículos anteriores comparan los resultados obtenidos en Reino Unido y Singapur. Se encuentran las mismas ideas alternativas y otra relacionada: el razonamiento basado en un factor, o como máximo dos, para explicar la tendencia de la energía de ionización a través del período 3 de la TP.

En E198 (Tan et al. 2008), los autores vuelven sobre el estudio de las concepciones respecto a la energía de ionización. Se trata básicamente del mismo instrumento anterior pero se amplía la muestra a otros países. Reportan 14 concepciones alternativas agrupadas en cuatro categorías: marco de la regla del octeto (útil para los enlaces pero la aplican en otros contextos); estabilidad de subniveles llenos o medio llenos (puede derivar del anterior y de libros de texto o profesores); conservación de la fuerza (a veces permite buenas predicciones y parece tener gran aceptación intuitiva); y razonamiento basado en relaciones (no relacionan diversos factores que se pueden contrarrestar). Los profesores debemos tener cuidado con el lenguaje antropomórfico y enfatizar en la particularidad de la estabilidad química. Para contrarrestar la idea de la conservación de la fuerza, se debe insistir en las leyes de Coulomb.

En E227, también Tan y Taber (2009), reportan los resultados de usar el mismo instrumento usado en E197. La muestra consta de futuros profesores graduados. Se encontraron concepciones y marcos alternativos similares a los de alumnos.

2.2.2 *Tamaño atómico*

En E37 (Eymur, Çetin y Geban 2013) se analizan y se comparan las concepciones alternativas sobre el tamaño atómico entre dos colectivos de personas: profesores en formación y alumnos de secundaria. En el artículo se resalta la importancia del concepto de tamaño atómico, especialmente por su relación con la energía de ionización y con las tendencias periódicas. También se resalta la dificultad que presenta este concepto, tanto en los estudiantes como en los profesores. Las concepciones alternativas se clasificaron en tres grupos: las que relacionan el tamaño atómico con el número de protones (es la más común), las que lo relacionan con la carga del ión (cuanto mayor es la carga, más grande es el átomo) y con el número de período. Las concepciones alternativas son similares en los dos colectivos.

2.2.3 *Valencia*

Chamizo y Gutiérrez (2004), en E19, reportan un estudio basado en tres preguntas: ¿qué se entiende por el término “concepto”? ¿Cuál ha sido el desarrollo histórico del concepto de valencia? ¿Cómo se incorpora el concepto de valencia en los libros de texto de bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México? La primera se responde con una reflexión teórica, la segunda con una cronología resumida y bibliografía sugerida. Para la tercera, se presentan resultados de análisis y se concluye que no hay consenso en la importancia del concepto. El término se usa para caracterizar los electrones, el último nivel, etc., pero no se define; todos los libros explican los enlaces con los electrones de valencia. Se encontró que el 100% de los libros analizados presentan la relación entre la valencia, los electrones de valencia y la posición en la tabla periódica. Los autores recomiendan usar fenómenos observables para guiar el razonamiento desde lo concreto a lo abstracto y aclarar adecuadamente la diferencia entre valencia y número de oxidación.

3 **Análisis de libros de texto**

En este grupo citamos los artículos que reportan resultados de análisis de libros de texto. Los agrupamos en tres categorías: los que abordan el concepto de elemento, los que abordan la ley periódica desde el punto de vista epistemológico y un artículo que se centra en una propiedad específica: la valencia.

3.1. Concepto de elemento	E1, E124, E155
3.2. Ley periódica	E12, E17, E29
3.3. Propiedad específica	E19

Tabla 15. Análisis de libros de texto

3.1 *Concepto de elemento*

En el artículo E124 (Linares 2005) se reportan perfiles de los profesores, contruidos según la función que le asignan a la tabla periódica y según la visión de elemento químico que expresan. Está citado en la categoría de los artículos que tratan el concepto de elemento como objetivo central y allí describimos los perfiles que plantea.

En E1 (Agudelo, Marzábal y Izquierdo-Aymerich 2009) se analizan los libros de texto desde el punto de vista de sus narrativas. Se encontraron tres tipos de narrativas según el modelo didáctico, de ciencia y de lector, asociados con una visión del elemento químico. Está citado en la categoría de los artículos que tratan el concepto de elemento como objetivo periférico y allí describimos las categorías que plantea.

En E155 (Raviolo 2009), que está citado en la categoría de artículos que tratan el concepto de elemento de manera periférica, se analizan algunas definiciones de conceptos clave de la química y se hace una propuesta para cada definición. Las definiciones analizadas son: sustancia, reacción química, sustancia elemental, elemento, compuesto, átomo, molécula, ión. También se analiza lo que dicen los libros de texto sobre el “*objeto de estudio de la química*”. Los resultado muestran gran diversidad y ambigüedad en las definiciones, falta de coherencia interna alrededor de ellas y concepciones alternativas. También se encontró una falta de relación entre los niveles macroscópico y microscópico, y poca precaución al introducir conceptos históricos, lo cual favorece la superposición de modelos.

3.2 *La Ley Periódica*

Los tres artículos clasificados en esta categoría (E12, E17 y E29) analizan libros de texto a partir de criterios basados en aspectos filosóficos y epistemológicos de la construcción, aceptación y estatus de la ley periódica. En los tres trabajos se usan instrumentos similares, que sirven para analizar si los libros tratan un tópico determinado o no; y si lo tratan, especificar si lo hacen de manera superficial o satisfactoria. Para ello se usan los indicadores

N (*no se menciona*), M (*se menciona superficialmente*) y S (*se menciona satisfactoriamente*). Los criterios de cada uno, y los resultados que más nos interesan para este trabajo, ya los hemos citado literalmente en la categoría “Desarrollo y aceptación”.

3.3 Propiedad específica (valencia)

En E19 (Chamizo y Gutiérrez 2004), cuyos resultados citamos en la categoría de actividades para bachillerato, se presenta el análisis de libros de texto como una parte de su estudio sobre la valencia. Para el análisis revisaron temas como: elementos, símbolos, compuestos, fórmulas, nomenclatura, tabla periódica, teoría atómica, enlaces, reacciones, oxido-reducción y números de oxidación. Las categorías usadas fueron las siguientes (con calificador binario SÍ o NO sobre el uso del concepto de valencia): Importancia de la valencia; definiciones a nivel macroscópico para valencia o iones, definiciones teóricas o establecidas para iones y/o enlaces; obtención de fórmulas de compuestos inorgánicos a partir de iones; obtención de fórmulas de compuestos inorgánicos incluyendo el número o estado de oxidación; enlaces iónico o covalente; electrones de valencia; y tabla periódica.

4 Revisiones, reseñas y otras propuestas

En esta clasificación agrupamos otros tipos de propuestas que hemos clasificado en 5 categorías: artículos que reportan iniciativas artísticas relacionadas con la TP y los EQ, artículos que presentan revisiones bibliográficas, artículos con revisiones de enlaces en internet, artículos con reseñas diversas y artículos que muestran exposiciones y otros tipos de propuestas.

4.1. La TP en el arte	4.1.1. En el cine	E142, E194
	4.1.2. En la literatura y el teatro	E27, E34, E73, E142
	4.1.3. En las artes plásticas y el diseño	E13, E36, E130, E148, E152, E185
4.2. Revisiones bibliográficas		E57, E58, E93, E125
4.3. Revisiones de enlaces en internet		E3, E6, E33, E91, E137
4.4. Reseñas diversas		E95, E212, E220
4.5. Exposiciones y otras propuestas		E78, E79, E94, E108, E119, E161, E200

Tabla 16. Revisiones, reseñas y otras propuestas

4.1 La TP y los elementos en el arte

Además de una revisión de iniciativas que relacionan la tabla periódica con el arte, E3 (Alvarez 2013), hemos encontrado otros trabajos que presentan actividades relacionadas. Los hemos dividido en tres grupos: los que tratan la TP en el cine, los que tratan la TP en la literatura y el teatro, y los que tratan la TP en las artes plásticas y el diseño.

4.1.1 En el cine

En E142 (Ober y Krebs 2009) se describen algunos “elementos” ficticios usados en la literatura y en el cine. Se menciona una referencia en internet para buscar “*fictional materials*”. Y en E194 se presenta una lista de películas, incluyendo cortometrajes (documentales no), que tienen el nombre de algún elemento químico en su título. Se señala cuáles títulos tienen sentido químico explícito y cuales no lo tienen. Se hacen algunas sugerencias para trabajar en clase.

4.1.2 En la literatura y el teatro

En E27 (Cunningham 2005), que ya habíamos citado con los artículos que proponen actividades lúdicas o juegos, se presentan adivinanzas cuya respuesta es el nombre de un elemento, pero los enunciados se construyen en rima. En E34 (Djerassi y Hoffman 2001) se presenta la obra de teatro “*Oxygen*” de la cual ya hemos hablado antes. En E73, Gasque (2013a) menciona algunas citas del arsénico en la literatura, la mayoría como veneno. En E142, como mencionábamos arriba, se citan elementos ficticios que se han usado en la literatura.

4.1.3 En las artes plásticas y el diseño

En E13 (Burgener 2009) se describe una actividad realizada por estudiantes, motivada por un juego de palabras: “*element*” y “*elephant*”; que se convirtió en un proyecto de arte público. Se encargó a distintos artistas locales que pintaran elefantes que representaran alguna característica de un elemento en particular; por ejemplo el que corresponde al zinc es un elefante que está tomando el sol y tiene crema de óxido de zinc. Después se encargó una escultura en forma de elefante pintado con todas las casillas de los “*elements-elephants*”, que fue colocado en la *American Chemical Society*, en Washington DC.

En E36 (Dreyfuss 2000) se describe una iniciativa del autor que propuso a sus alumnos pintar los símbolos de los elementos en su coche. Esto generó entusiasmo y conversación alrededor del tema de la tabla periódica y, como el rumor se extendió por la ciudad, muchos familiares y amigos de los alumnos expresaron curiosidad sobre el tema, lo cual ya fue considerado como un éxito pedagógico.

En E130 (Marchal 2008) se presenta una gran la tabla periódica pintada en la fachada del edificio de Ciencias de la *Universidad de Jaén*, en 2007, con motivo del centenario de la muerte de Mendeleiev. Se describen los materiales, las dimensiones, etc.

En E148 (Palmer y Brosnick 2005) se reporta la iniciativa de unos estudiantes que, para celebrar la semana de la ciencia, diseñaron y comercializaron camisetas con palabras formadas con símbolos químicos, siguiendo el formato de casilla de TP.

En E152 (Pinto 2007) se presenta la estampilla editada por la empresa de Correos de España, en 2007, con motivo del centenario de la muerte de Mendeleiev. El autor propone algunas actividades para trabajar en clase con esta estampilla.

En E185 (Silva et al. 2006) se describe un concurso expositivo en el que los estudiantes elaboraron obras de arte relacionadas con la tabla periódica. En las bases de la exposición hubo libertad para las obras, pero debían estar relacionadas con la tabla periódica de alguna manera. Se muestran fotos de algunas de las obras.

4.2 Revisiones bibliográficas

En E125 (Linares y Izquierdo-Aymerich 2007) se presenta una “... *revisión cronológica de 109 artículos relacionados con la tabla periódica (TP) publicados en el Journal of Chemical Education (JCE) a lo largo del siglo XX*”. Los artículos se clasificaron en 11 ítems y las autoras concluyen entre otras cosas que: Se refleja la polisemia del término “elemento químico”; se reflejan dos retóricas, una trata de sustentar la periodicidad en la estructura atómica y la otra trata de enseñar la estructura a partir de la tabla periódica; se encuentran tres tipos de artículos sobre el modelo atómico, los que describen modelos materiales para facilitar la visualización de los modelos atómicos, uno que plantea experiencias prácticas para probar la existencia de los electrones y que los estudiantes infieran la estructura atómica, y otros

que se centran en la fundamentación conceptual. Finalmente, se concluye que la tabla periódica es el recurso didáctico más útil para organizar, explicar y comprender todo el conocimiento de los elementos.

En E93 (Jacobsen 2009) se hace una reseña de los artículos, publicados en la revista *Journal of Chemical Education* hasta 2009, que proponen actividades de clase sobre la TP. Están clasificados en las siguientes categorías: actividades, puzles, nemotécnicas, información sobre elementos, información sobre la tabla periódica, formatos y construcción de la tabla periódica.

En E57 y E58, Franco-Mariscal (2012b, 2012c) reporta una revisión, clasificación y descripción de propuestas de tipo recreativo para enseñar la tabla periódica. El primer artículo describe los trabajos dedicados a la familiarización de símbolos y nombres, así como la posición que ocupan los elementos en la tabla periódica. El segundo artículo describe los que se centran en la comprensión de aspectos más complejos como la naturaleza, los fundamentos y las aplicaciones.

4.3 Revisiones de enlaces en internet

En E3 (Alvarez 2013) se hace una amplia descripción de iniciativas que demuestran que la tabla periódica es un punto de encuentro entre diferentes ramas de la cultura (humanista, artística y científica); y que se ha convertido en un ícono cultural, de manera que su formato y los símbolos de dos letras se han adaptado a diversos usos, generalmente como metáfora de organización combinada y simbología. El autor divide el texto en los siguientes ítems: música, literatura, artes plásticas, cómics, cine. En cada ítem cita diversas alusiones a la tabla periódica, la mayoría de ellas con enlaces para acceder a sitios web.

En E186 (Slocum y Moore 2009) se presenta la “*Periodic Table Live! (PTL!)*” que es la tabla periódica online de los editores de la *Journal of Chemical Education*. Se ofrece como algo más que una base de datos, se resaltan los videos de reacciones químicas, las imágenes interactivas de la estructura interna de las sustancias sólidas y la posibilidad de hacer gráficos de una variable respecto de otra, por ejemplo, para ver la periodicidad de algunas propiedades.

En E6 (Banks y Jacobsen 2009) se hace una revisión de recursos online que forman parte de la *ChemEd Digital Library* asociada con la PTL! que citamos en el párrafo anterior (artículo E186). Se describe la concepción de la idea y cómo la llevaron a cabo, cómo consiguieron las muestras y cómo hicieron los videos de algunas reacciones químicas.

En E137 (Moore 2009) se explican detalles de algunos de los videos que grabaron los autores para los recursos didácticos que mencionamos en el artículo anterior (E6). Los autores valoran positivamente la experiencia porque aprendieron mucho, sobre todo de cuestiones que en la práctica no resultan exactamente como se describen en los libros de texto.

En E33 (Diener 2009b), se presenta una revisión de sitios web con contenidos relacionados con la TP. Están clasificados según el contenido: una mirada histórica a la tabla, descubrimiento de elementos individuales, la tabla periódica de los elementos, átomos, y moléculas.

En E91 (Izci, Barrow y Thornhill 2013), que ya habíamos citado en la categorización por formatos, hace un análisis de las 10 tablas periódicas online más visitadas. Los autores hacen algunas recomendaciones, sugiriendo cuáles son las más útiles para objetivos determinados. Por ejemplo, si se necesita más precisión en la información, o si se necesita más cobertura, o la posibilidad de hacer gráficos, etc. Se reconoce que aunque la precisión de algunas de las TP revisadas no es una virtud, y que tener acceso a ellas, en sí mismo, no garantiza una mejora en el aprendizaje, las tablas periódicas online son herramientas importantes para motivar a los estudiantes, son versátiles y a través de ellas se puede acceder a una gran cantidad de información en forma de gráficos, fotos, videos, etc. Los profesores deben saber usarlas y saber escogerlas.

4.4 Reseñas diversas

En E95 (Jacobsen y Slocum 2009) se hace una reseña del número 10 del volumen 86 de la revista dedicado a la tabla periódica. En E212 (Viossat 2000) se hace una reseña de la segunda edición del software ERICE (Para Windows 95) que contiene una TP con 109 elementos y mucha información sobre ellos. En E220 (Williams 2009), se hace una breve reseña de una serie de artículos publicados en la revista entre 1930 y 1932 sobre la historia del descubrimiento de los elementos que, posteriormente, se editó como libro.

4.5 Exposiciones y otras propuestas

En E78 (Grau 2009) Se presenta una exposición montada por los estudiantes de ingeniería química de la *Escola Politècnica Superior d'Enginyeria* de Manresa con el título *On és la química?* La exposición constó de tres partes: una sobre la TP, otra sobre la presencia de los productos químicos en la vida cotidiana y otra sobre las plantas químicas industriales. La buena acogida que tuvo, especialmente la primera parte sobre la TP, llevó a los estudiantes a comenzar un proyecto para una tabla interactiva online (Grau 2008).

En E79 (Groat y Jacobsen 2009) se convoca al proyecto “*Elements on Facebook*”, que ya habíamos mencionado, a partir del cual se publicaron los artículos de la serie “*My favorite element*”. La propuesta consta de una votación de los lectores sobre el elemento preferido, cuyos resultados hasta la fecha muestra el siguiente orden de los más votados: carbono, titanio, aluminio, nitrógeno y potasio. En E94 (Jacobsen y Groat 2010) se hace seguimiento, un año después, de la propuesta anterior; se dan datos sobre el perfil de Facebook de cada elemento y la cantidad de personas que los siguen.

En E108 (Kuntszleman et al. 2013) se describe una actividad realizada por estudiantes, que construyeron una tabla periódica gigante de piezas de armar LEGO[®]. Expusieron el producto final en la pared del instituto y convocaron a la comunidad educativa para que quien quisiera diseñara figuras para representar los elementos, de tal manera que se convirtió en un motivo para generar debate y actividad alrededor de la tabla periódica.

En E119 (Slocum 2009) se describe una actividad de clase en la cual los alumnos construyeron figuras de papel en forma de icosaedro para representar cada elemento químico y escribir la información relevante en las caras de la figura. Los icosaedros fueron colgados en el techo para formar una tabla periódica.

En E161 (Saecker, Mary E. 2009) se presenta un recortable de papel para formar una tabla periódica tridimensional. Se citan diversos formatos de la tabla periódica, algunos libros inspirados en ella como el de Oliver Sacks (2009), el de Primo Levi (1984) y obras de teatro como la de Hoffman y Djerassi (Djerassi y Hoffman 2001). También se citan algunos esquemas que imitan la tabla periódica para ordenar otras cosas, o para hacer parodias de ella.

En E200 (Thomas 2009a) se presenta una lista de ciudades de los EEUU que contienen nombres de elementos químicos y se explican algunas de las características que las relacionan con el elemento que está en su nombre. Entre las ciudades que se mencionan podemos encontrar *Antimony*, *Arsenic Tubs*, *Barium Springs*, *Boron*, *Tungsten*, etc.

3.4 Conclusiones del análisis de la revisión bibliográfica y directrices para el diseño de las encuestas y las plantillas de análisis.

Esta sección está dividida en tres partes: en la primera parte presentamos las conclusiones generales sobre la clasificación de los artículos, en la segunda parte presentamos las conclusiones que se refieren a los núcleos conceptuales que conforman las categorías emergentes que encontramos en la clasificación de los artículos “teóricos” y, en la tercera parte, presentamos las conclusiones sobre la clasificación de los artículos que proponen actividades didácticas o evaluación de recursos. A partir de estas conclusiones, teniendo en cuenta el uso de la tabla periódica, obtendremos las directrices para diseñar el instrumento de análisis de los libros de texto y de las encuestas

3.4.1 Conclusiones generales sobre la clasificación de los artículos.

Una de las primeras ideas que surgen al observar la clasificación de los artículos que hemos llamado *teóricos* es la gran cantidad de trabajos que, de manera central o periférica, abordan la cuestión del formato de la TP, ya sea para proponer alternativas, señalando las debilidades de unos y las fortalezas de otros, o para optimizar los formatos tradicionales a partir de diversos criterios. Esta tendencia ya la habíamos observado al hacer la revisión bibliográfica general en la revista *Foundations of Chemistry*, lo cual no es sorprendente al tratarse de una revista especializada en filosofía e historia de la química, y cuyo jefe de editorial, el profesor Eric Scerri, ha defendido algunos formatos alternativos de la TP (Scerri 2008b). Pero lo que sí nos llama la atención es la aparente incoherencia (sobre ello volveremos más adelante) entre la gran presencia que tiene esta cuestión en las discusiones teóricas de las revistas didácticas y la poca presencia que tiene en las propuestas didácticas publicadas en las mismas revistas. Esta diferencia es aún más abismal si hacemos la comparación con el tratamiento que tiene este tema en los libros de texto (cuando se aborda). Como afirman varios autores citados aquí (Jensen 2008b; Lavelle 2008b), y algunos lo confirman mediante el análisis de libros de texto (Camacho, Gallego y Pérez

2007), los libros suelen presentar un único formato, normalmente el diseño de Mendeleiev con algunos cambios (Hennigan y Grubbs 2013) y sin explicar las premisas que lo sustentan (Jensen 2008b). No es frecuente encontrar tan sólo una mención breve de que la representación de la ley ha sido una preocupación constante, no sólo a través de la historia, sino también en el presente; y de que, como veremos más adelante, en cada formato subyace la intención de resaltar determinadas relaciones.

También nos llama la atención que dentro de la gran cantidad de artículos teóricos centrados en un elemento concreto, son pocos los que tratan el elemento en relación con el sistema periódico; y que sólo hay dos propiedades periódicas, la electronegatividad y el carácter metálico, que reciben atención con estudios centrados en ellas. De hecho, entre los 5 trabajos dedicados a la electronegatividad, hay 3 que están escritos por los mismos autores y forman una trilogía (Salas-Banuet, Ramírez-Vieyra y Noguez-Amaya 2011c, 2011a, 2011b), lo cual refuerza la idea de que hay poco debate en estos aspectos.

El concepto de elemento también tiene una presencia representativa en los artículos teóricos, aunque el tema no genera tanto debate entre los autores puesto que hay pocas discrepancias (más adelante trataremos algunas). Lo que sí es evidente es que hay una generalizada aceptación del concepto de elemento como problema didáctico y, sobretudo, en relación con el sistema periódico; pero, precisamente por esto, consideramos que la cantidad de artículos que ofrecen propuestas para enseñarlo, o actividades relacionadas, es relativamente baja. Como detallaremos más adelante, hay pocas propuestas que lo aborden de manera profunda y menos aún en relación con el sistema periódico, con el cual ha estado estrechamente relacionado, porque precisamente se trata ahora de un sistema de los elementos.

También resaltamos la gran cantidad de propuestas llamadas *lúdicas*, para enseñar los conceptos relacionados con la TP. Esta proliferación puede ser importante, en principio, como indicador de la preocupación de los profesores por producir y evaluar alternativas diversas con fines tan importantes como fomentar la motivación, promover la creatividad y la imaginación, permitir la participación activa de los estudiantes, desarrollar estructuras mentales para el pensamiento abstracto, etc. (Franco-Mariscal 2014). Todo esto, además, es coherente con la búsqueda de innovación educativa, encaminada muchas veces a la motivación del estudiante desde el punto de vista lúdico.

Pero lo que más nos llama la atención es que dentro del conjunto de este tipo de propuestas hay una gran proporción de trabajos que tienen el propósito, único y exclusivo, de ayudar a la memorización y familiarización de los nombres, los símbolos y las posiciones de los elementos en la tabla periódica. Nos parece que hay un desequilibrio entre la producción de este tipo de actividades, que además son bastante repetitivas en cuanto al fondo didáctico porque sólo cambian superficialmente, y la producción de otro tipo de propuestas, también lúdicas, que pretenden proponer alternativas basadas en la motivación del reto intelectual (Schmidt 2000). Consideramos que éstas últimas, más que aquellas, van en la línea de una enseñanza que, como nos invita Chamizo (2013), dedique todos los esfuerzos a fomentar la habilidad para el manejo del cambio.

Para finalizar esta mirada general de la revisión, es interesante constar que encontramos una gran cantidad de iniciativas, de diversa índole, que relacionan la TP con el arte, lo cual indica una producción considerable de ideas y recursos alternativos que también pueden jugar un papel importante en la motivación, y son alternativas que consideramos interesantes para tenerlas en cuenta en el diseño de actividades dirigidas a que los alumnos se familiaricen con los nombres y los símbolos de los elementos, porque se trata de recursos que apelan a una mirada más amplia de nuestra cultura y de la TP como ágora del arte y la ciencia (Alvarez 2013).

3.4.2 Conceptos en los artículos teóricos

A partir de las categorías en las que agrupamos los artículos que hemos etiquetado como *teóricos*, discutiremos aquí las principales ideas que giran alrededor de los núcleos conceptuales que encontramos, como el concepto de *elemento* químico, la cuestión del formato de la tabla periódica, el estatus de la *ley periódica* dentro de las leyes de la ciencia y la importancia de las predicciones, de la ordenación y de las correcciones que facilitó el sistema periódico y que incidieron en la aceptación que tuvo por parte de la comunidad científica.

Sobre el concepto de elemento químico

De los artículos que tienen como objetivo tratar el concepto de elemento químico se puede extraer que, en general, hay acuerdo en su condición de concepto estructurador de la

química, en la polisemia del término y en la estrecha relación que tiene con los diversos niveles de abstracción a los que el mismo concepto se ha referido a lo largo de la historia. Como se puede ver en esta revisión, su particular génesis y evolución se considera central en todas las implicaciones adheridas al hecho de que la química transita por diversos niveles ontológicos y epistemológicos, siendo el concepto de elemento uno de los más importantes implicados en dicho tránsito; y por lo tanto de más difícil definición y comprensión.

Se acepta, en general, que el referente ha ido cambiando entre concepciones realistas, como las de Boyle y Lavoisier, y concepciones abstractas, como la de Mendeleiev y Paneth. Se acepta también en general que el concepto de elemento es un buen ejemplo, paradigmático, de la provisionalidad de los conceptos, y que las diversas definiciones que se han propuesto para acotarlo establecen un vínculo entre los fenómenos observables directamente, macroscópicos, y los modelos que imaginamos y construimos para explicarlo.

Ahora bien, aunque hay acuerdo en la generalidad del concepto, las discrepancias se hacen evidentes en la literalidad de las definiciones, entre las diversas propuestas para el uso actual, tanto en el contexto de la enseñanza, buscando aclarar la confusión lingüística y facilitar el aprendizaje del concepto en sus diversos niveles de abstracción (la pregunta que divide es ¿qué definiciones enseñar y en cuáles niveles?), como en el contexto de la investigación, y muy especialmente en relación con la intención de proponer y defender formatos para la tabla periódica, que buscan la mejor manera de representar las propiedades periódicas de la entidad definida (el elemento químico) en un esquema tabular, piramidal, espiral, tridimensional, etc. Repasemos algunas definiciones de elemento que encontramos en los artículos clasificados.

Ghibaudi y sus colaboradores (2013), después de citar diversas propuestas sugieren usar el término *elemento* de manera puramente abstracta, para referirse a un símbolo, a un nombre, a un número (atómico) y a una posición en la tabla periódica. Es importante resaltar las críticas que hacen estos autores a la definición de la IUPAC (2006), (citando a Nelson (2003)), que es una de las referencias más importantes para los autores de libros de texto y es generalmente la que se publica en ellos. La definición actual publicada en el “Gold Book” (<http://goldbook.iupac.org/C01022.html>) es la siguiente:

chemical element

1. *A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the atomic nucleus.*
2. *A pure chemical substance composed of atoms with the same number of protons in the atomic nucleus. Sometimes this concept is called the elementary substance as distinct from the chemical element as defined under 1, but mostly the term chemical element is used for both concepts.*

Esta definición, según los autores, tiene tres problemas íntimamente relacionados: no acaba de zanjar la confusión conceptual entre átomo, sustancia simple y elemento; no reconoce el valor formal del concepto; y obliga a los estudiantes a aproximarse a la química desde el punto de vista atómico.

Labarca y Zambon (2013), con el objetivo de proponer un formato concreto de tabla periódica, definen el elemento químico como sustancia básica, representada por el número atómico y por lo que ellos definen como *números mágicos límite*, que son los números mágicos máximo y mínimo del átomo del elemento, y que corresponden a la cantidad de neutrones, máxima y mínima respectivamente, que puede tener el átomo sin dejar de ser estable.

Nelson (2003), pensando en la introducción del concepto desde el punto de vista macroscópico, define el elemento como un tipo básico de materia que existe en forma de sustancias elementales que se pueden transformar sin que cambie su masa.

Es interesante observar que en algunos artículos que tratan el concepto de elemento de manera periférica podemos encontrar visiones implícitas diferentes: la de Jou (2013), netamente atómica y física, al referirse a la formación de los elementos en las estrellas; la de Mans i Teixidó (2013), como nexo entre la estructura atómica de los átomos y las propiedades físicas y químicas macroscópicas; y la de Schwarz y Rich (2010) que insisten en diferenciar no sólo entre el elemento como sustancia y el elemento como entidad abstracta, sino también entre los átomos de un mismo elemento que están en diversos contextos (enlazado, ionizado, libre en el vacío, etc.).

Se evidencia que el concepto de elemento, tanto en la versión de Mendeleiev, caracterizado por la masa atómica, como en la de Paneth, caracterizado por el número atómico (incluyendo todas las variantes actuales), está ligado de manera solidaria al concepto de periodicidad y a los usos didácticos que se le da a la TP, como sugiere Linares (2005).

Vemos pues, que el concepto de elemento está reconocido por la investigación didáctica como una interacción entre “el mundo” que percibimos directamente con los sentidos (que podemos intervenir) las entidades que construimos para explicar dicho mundo (que podemos pensar) y la manera en que compartimos dichas explicaciones (que podemos comunicar).

Sobre el formato de la tabla periódica

Es evidente que no hay un acuerdo entre los autores sobre cual es la mejor manera de representar la ley periódica, pero también hay discrepancias sobre si existe o no una mejor manera de hacerlo y si vale la pena buscarla. En seguida nos referiremos a estas cuestiones en tres partes: las propuestas concretas de diversos formatos, la pregunta por la existencia de un esquema ideal, y, lo más importante para esta investigación: el cuestionamiento sobre la pertinencia, o no, de llevar el debate al contexto de la educación y en qué nivel.

En cuanto a las propuestas concretas, se puede ver que la problemática gira alrededor de dos ejes: Por una parte, se discute la colocación óptima de determinados elementos, principalmente los elementos de transición interna (sobretudo las parejas La – Ac , Lu – Lr), el hidrógeno, el helio, los elementos del grupo del Zn); y por otra parte se discuten los criterios que se deben considerar para evaluar la idoneidad de un formato determinado, es decir, la optimización de relaciones, la optimización de triadas, la consistencia de los bloques *s, p, d, f*, el tamaño (por la comodidad de impresión y colocación en los libros), la simplicidad, la forma en sí (espiral o recta, tridimensional o bidimensional), las configuraciones electrónicas, las propiedades químicas, la capacidad predictiva, etc.

En cuanto a los criterios, hay un relativo acuerdo en que se deben tener en cuenta varios aspectos al mismo tiempo de manera equilibrada; pero el equilibrio depende la importancia relativa de cada criterio y, como hemos visto, los autores le dan más importancia a unos o a otros, según la utilidad que para ellos tenga la tabla periódica. En este sentido, Schwarz y Rich (2010) afirman que aunque los esquemas dependen de los criterios, deben ser competentes principalmente en la precisión empírica y la compatibilidad de los principios de la mecánica cuántica; y Mans i Teixidó (2013) señala que los criterios se basan, principalmente, en la coherencia, la legibilidad y la estética, pero aclara que como estos conceptos han evolucionado, las Tablas también lo han hecho y, en principio, seguirán evolucionando, pues no hay razones para pensar que no lo hagan.

Sobre la existencia de “la mejor tabla periódica”, en algunos artículos (Rich 2005; Laing 2009b; Schwarz y Rich 2010; Rich y Laing 2011; Laing 2009c, 2008) encontramos la idea de que no puede existir una que sea mejor que las otras en todos los usos y que los químicos deben escoger la más útil en cada contexto; pero no sólo los químicos deben tomar esta decisión, sino también los profesores, los divulgadores y los autores de libros de texto, porque cada contexto educativo también implica unas intenciones determinadas. También encontramos visiones como la de Scerri (2009a) que considera que sí vale la pena buscar una tabla periódica perfecta e ideal, una que refleje las regularidades de la naturaleza y no ideas artificiales; o la de Clark (2008), que se posiciona a favor de los formatos largos, y afirma que debido a las facilidades de impresión modernas y los formatos digitales, el debate se debe centrar en determinar cuál de las tablas largas refleja mejor el orden natural y dejar de lado los formatos “*shyleaf*” (cómodos para los libros de tamaño estándar), porque considera que los científicos nunca se pondrán de acuerdo en dónde hacer el corte de división del bloque *f*, pues esto sí depende de qué tipo de similitud se quiere evidenciar.

Pero lo que más nos interesa para el propósito de esta investigación, es la pregunta sobre la pertinencia de llevar el debate del formato al contexto de la educación y la relación que esto puede tener con el uso didáctico de la tabla periódica. Encontramos las siguientes posiciones:

Clark y White (2008) opinan que no es pertinente llevar a las clases estas elucubraciones porque, aunque son importantes para los investigadores, los estudiantes se podrían confundir, y porque lo que se debe enseñar es que la importancia y belleza de la tabla periódica está en su simetría y no en las excepciones. En este sentido, Clark y White consideran que los profesores y los autores de libros de texto se deberían ceñir a una única propuesta estandarizada, como la de la IUPAC, por ejemplo; y que mientras no haya un consenso, al publicar determinado formato se expliquen las razones de la elección. Es importante aclarar que los diversos formatos a los que se refieren Clark y White varían solamente en la colocación de las tierras raras, pero todos son formatos del tipo tradicional medio-largo de 18 columnas, es decir, los que se han etiquetado como *14LaAc*, *14CeTb* y *15LaAC*.

Igualmente, Lavelle (2009) considera que es necesario mantener el debate entre profesores y revisores, porque la problemática existe y se basa en la necesidad de tener que considerar diversos factores simultáneamente, pero opina que éste no se debe trasladar abiertamente a los libros de texto y a las clases, sino más bien usar las tablas convencionales estandarizadas como la de la IUPAC, por ejemplo, mientras se mantiene la discusión entre expertos.

Contrariamente, Jensen (2008b) argumenta que el papel de los profesores es enseñar las ambigüedades y la función creativa de las representaciones. Rich (2005) opina que aunque pueda causar un poco de confusión para los estudiantes, es importante que desde el principio se encuentren con la complejidad que tarde o temprano tendrán que afrontar, además de que es importante que aprendan que los esquemas se basan en aproximaciones idealizadas, como todas las leyes. Y Laing (2009b) coincide en que es importante que los estudiantes conozcan y usen diferentes formatos.

Sobre la explicación de la periodicidad y el estatus de la ley periódica

Para nuestro propósito, nos interesa destacar los artículos que tratan sobre la explicación de la ley periódica a partir de dos ejes. El primer eje se puede entender considerando la siguiente pregunta: ¿la tabla periódica es una herramienta de explicación o es un producto que se ha de explicar? De hecho, aunque algunos se centran más en dar argumentos para explicarla y otros se centran en usarla para explicar fenómenos, también ha sido usada de las dos maneras al mismo tiempo, es decir, como producto y herramienta, sin que estos dos atributos sean excluyentes. El segundo eje está relacionado con el tipo de explicaciones que, como hemos visto, suelen hacerse en términos de configuraciones electrónicas o términos de la teoría atómica química; este eje remite a la cuestión de la reducción de la química a la física y a las concepciones del elemento químico como entidad abstracta o realista, como sustancia macroscópica y operativa o como un tipo de partícula.

Es interesante volver sobre la discusión entre Scerri (2013) y Niaz (2013), en la que el primero, basado en el rechazo que expresaba Mendeleiev de la teoría atómica, critica la propuesta del segundo, según la cual el químico ruso se basó en dicha teoría para formular la ley periódica, aunque no lo expresara claramente. Para Niaz, la tabla periódica fue desarrollada por Mendeleiev como una teoría interpretativa, basada en la teoría atómica disponible en la época, y que posteriormente, con el descubrimiento del número atómico, se convirtió en explicativa. En cambio para Scerri, la TP es objeto de explicación

(*explanandum*) y no objeto explicador (*explanans*), ni siquiera después de los aportes de Bohr, Stoner y Pauli, que sirvieron para explicarla, en gran parte, pero no la convirtieron en una teoría explicativa de repente. Ni siquiera lo es ahora, según Scerri, que la mecánica cuántica ha proporcionado una explicación parcial de su existencia, de su forma y de su éxito. Para este autor (2011), la tabla periódica se trata más de un esquema de clasificación que de una teoría explicativa, pero a este tipo de esquemas, también muy importantes en la construcción de conocimiento científico, le otorga un cierto poder explicativo (no deductivo), clasificando así la TP dentro del tipo de esquemas que proporcionan una explicación, que denomina “*bootstrapping*” (2011, p. 237).

Garay y sus colaboradores (2006), citando las definiciones de modelo de Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), afirman que la TP se debe considerar una interpretación idealizada que explica el fenómeno interpretado y, además, puede transformarlo.

Emma Tobin (2013) propone dos categorías para estudiar las generalizaciones en química, analizándolas de manera independiente de las de la física: las idealizaciones y las aproximaciones. Las idealizaciones son necesarias cuando el contexto es demasiado complejo y sirven para delimitar una cierta causalidad o grupo de causas que provocan un efecto si el proceso ocurre en un entorno idealizado; las aproximaciones son generalizaciones cuya validez se mantiene a pesar de contraejemplos que no se pueden considerar simplemente como situaciones alejadas de la idealidad, como es el caso de la ley periódica y la tabla periódica de Mendeleiev.

Enfocándose directamente en el contexto educativo, Izquierdo y Adúriz (2009) proponen que después de la elaboración de la tabla periódica, pensada por Mendeleiev como una manera de sistematizar el conocimiento disponible para explicarlo de forma efectiva a sus alumnos, el átomo físico fue una construcción necesaria para poder adaptar los conceptos químicos y estructurar explicaciones genuinas a partir de los elementos como hipótesis química. El átomo químico fue un paso necesario para la construcción del átomo físico en la búsqueda de explicaciones de fenómenos químicos como la periodicidad. La tabla periódica fue concebida como una herramienta de explicación sistematizada y posteriormente se fue convirtiendo también, sin perder este carácter de herramienta, en un objeto de explicación y una guía para imaginar estructuras hipotéticas que sirvieron para elaborar los modelos atómicos.

En cuanto al segundo eje, hemos visto en los artículos citados que aunque la mecánica cuántica ha tenido gran éxito en explicar parcialmente el sistema periódico, la diferencia de niveles ontológicos en los cuales trabaja la química, cada uno con sus explicaciones específicas, hace necesario mantener la autonomía de los diferentes niveles de explicación: las reacciones químicas y los comportamientos periódicos de las propiedades macroscópicas no se pueden racionalizar en términos de la mecánica de los electrones. La mecánica cuántica, apenas ha logrado una explicación parcial de la existencia, y sus formas, de los esquemas que se han desarrollado a partir de la tabla de Mendeleiev (Scerri 2008a).

La gran complejidad del mundo macroscópico no se ha podido racionalizar en términos de las partículas subatómicas y sus interacciones. La regla de Madelung, por ejemplo, que se utiliza a menudo como paradigma de la racionalización de la TP, es una creación que ayuda a facilitar el aprendizaje de algunos aspectos; pero, como afirman Schwarz y Rich (2010), sólo funciona bien en una zona determinada de la tabla periódica; y la tendencia a generalizarla, para simplificar una realidad compleja como la periodicidad química, puede llevar a reproducir costumbres que perpetúan errores.

La reproducción de este tipo de costumbres también puede promover la perpetuación de ideas como la de considerar la TP como una cuadratura exacta, cuya forma (única) se debe a que los electrones ocupan las capas de los átomos tal como dice la regla de Madelung, al representar supuestamente de manera exacta la distribución de energía de éstos. Tales ideas, que no sólo están deformadas respecto a lo que es la tabla periódica concretamente y la regla de Madelung como aproximación, sino también respecto a lo que es un producto científico en general, frecuentemente inducen a pensar que las representaciones que usamos para explicar una realidad son la realidad misma.

Sobre las predicciones, la acomodación y las correcciones

En cuanto al debate sobre qué fue más importante en la aceptación de la tabla periódica por parte de la comunidad científica, lo que nos interesa resaltar es la presencia y actualidad del debate en sí mismo, más que los resultados. En términos generales, hemos visto dos posiciones en los artículos citados: la de Scerri y la de Niaz.

Scerri (2013) defiende que, en contra de la tendencia más común que es la que defiende Niaz (2013), no fueron las predicciones exitosas lo que significó la mayor fuerza de la obra de Mendeleiev para ser aceptada en su época; y para sustentarlo usa el concepto de “post-dicciones” o acomodaciones que, según él (citando a Lakatos) se pueden considerar como una forma de predicciones.

Por su parte, Hoffman (2009), que también le da importancia a las predicciones en el éxito de la TP, además considera que fue importante el señalamiento de los errores en los pesos atómicos, algunos de los cuales se pudieron corregir, y el haber mostrado que su método de clasificación ilustra una ley de la naturaleza.

3.4.3 El uso de la tabla periódica en las propuestas didácticas

Al clasificar los artículos teóricos de la manera que lo hemos hecho, resaltando los núcleos conceptuales con mayor presencia, nos hemos preguntado en qué medida existe una correspondencia entre las ideas que se discuten en los artículos teóricos, especialmente sobre los núcleos conceptuales que destacamos, y las actividades que se proponen para las clases.

Con tal fin, en este apartado hacemos una comparación entre las propuestas didácticas que plantean los artículos de la muestra y las discusiones teóricas que se publican en las mismas revistas, teniendo en cuenta los núcleos conceptuales que venimos discutiendo: el concepto de elemento, el formato de la tabla periódica, las explicaciones y el desarrollo del sistema periódico. Estas comparaciones nos darán elementos para el diseño de un instrumento que nos permita caracterizar las maneras de usar la tabla periódica por parte de los profesores y en los libros de texto, es decir, para caracterizar la función didáctica de la tabla periódica.

Sobre el concepto de elemento

De los 11 artículos en los que se hacen propuestas cuyo objetivo central es la enseñanza del concepto de elemento, encontramos 5 que lo incorporan en el contexto del sistema periódico y sólo uno de éstos proporciona actividades para enseñarlo; los otros cuatro son trabajos que presentan resultados de investigaciones a partir de entrevistas, encuestas y cuestionarios. De los 6 trabajos que tratan el elemento químico como objetivo central, pero

sin relacionarlo de manera explícita con el sistema periódico, cuatro proponen actividades y dos son investigaciones evaluativas.

En cuanto a los trabajos evaluativos, en general, se detecta la misma problemática planteada en los artículos teóricos: la polisemia del término, la superposición de modelos antiguos y nuevos, el nivel de abstracción, el uso paralelo de la información macroscópica y microscópica de la tabla periódica, el problema de la diferenciación entre sustancia, elemento y átomo, etc. (Franco-Mariscal y Oliva-Martínez 2013b; Linares 2005; Schmidt, Baumgärtner y Eybe 2003; López, Dulce y Furió-Mas 2005; Stains y Talanquer 2007). En este sentido, observamos que existe coherencia entre las discusiones teóricas que se plantean en las revistas didácticas y los resultados de investigación que se publican, lo cual nos lleva a preguntarnos si también se mantendría esta coherencia con el tipo de propuestas planteadas para actividades de clase en las mismas revistas. Encontramos que hay menos correspondencia de la que esperábamos. Veamos algunas comparaciones:

A pesar de la relación evidente que hay entre el concepto de elemento, las dificultades que presenta su aprendizaje, y el papel protagónico que tiene en la tabla periódica, la mayoría de estas propuestas (Caamaño 2011; Caetano da Rocha y Cavicchioli 2005; Lacerda, Campos y Marcelino-Jr 2012; Mans 2009) no asocian el concepto de elemento, de manera explícita, a la periodicidad de sus propiedades. Esto nos lleva a la siguiente reflexión: cuando el objetivo es enseñar la periodicidad, es evidente que el concepto de elemento es necesario, ya sea que se aborde directamente o que se suponga ya comprendido, es decir, según este “relato” el concepto de elemento se debe comprender antes de aprender la periodicidad. Esto parece tener coherencia con las secuencias en las que se estudia el concepto de elemento (y los modelos atómicos según la visión de elemento que se quiera enseñar) y después la tabla periódica. En los libros de texto analizados nos fijaremos en este aspecto.

Sólo hay una actividad propuesta que está formulada para trabajar el concepto de elemento de manera explícita en el contexto del sistema periódico (Franco-Mariscal y Oliva-Martínez 2013a). Esta propuesta, como los mismos autores lo expresan en la introducción, se divide en dos partes: en la primera parte se aborda el concepto desde el punto de vista macroscópico y en la segunda se aborda desde la perspectiva submicroscópica; y, por lo tanto, aunque se tratan los dos niveles, se abordan por separado. Además, en la evaluación de esta actividad, los autores afirman que los logros alcanzados son modestos en cuanto a

los contenidos que exigen un aprendizaje profundo. Es interesante resaltar que aunque en teoría los autores tienen en cuenta la concepción abstracta de elemento, en la práctica parece no usarse, o al menos no se explicita en el artículo, para relacionar los dos niveles trabajados en cada una de las dos partes de la actividad.

También encontramos 9 artículos que tratan el concepto de elemento como objetivo periférico; cuatro de ellos lo abordan precisamente para enseñar la tabla periódica en general y tres para trabajar la relación entre los niveles atómico y macroscópico. Cinco de estos 9 artículos reportan resultados de evaluación a partir de entrevistas a profesores o análisis de libros de texto, y cuatro plantean propuestas de actividades para las clases. De estos cuatro, uno presenta la “*taula periòdica real*” de Segura, Valls y Martí (2010), otro propone las alternativas de la regla de Madelung (Schwarz 2010), y los otros dos plantean actividades interesantes para relacionar los niveles macro y micro, usando el concepto de elemento en relación con sus propiedades periódicas.

A pesar de que en los artículos teóricos se puede notar que el concepto de elemento, en sentido abstracto, va ligado solidariamente a la periodicidad y al uso que se hace de la tabla periódica, y lo mismo se reporta en los resultados de las investigaciones relacionadas, encontramos que es insuficiente el énfasis que se hace sobre ello en la producción de propuestas didácticas concretas para las clases.

Sobre el formato de la tabla periódica

Aunque en los artículos teóricos se constata que hay discrepancias entre los investigadores, no sólo en la elección del mejor formato de la tabla periódica sino también en la existencia misma de alguno que sea mejor que todos los otros, el debate tiene poca presencia en las actividades propuestas para realizar en clase.

De los artículos que plantean alguna propuesta relacionada con el formato, hay dos que usan uno alternativo en concreto. Hennigan y Grubbs (2013) describen la construcción de uno tridimensional y plantean de manera explícita la importancia pedagógica de imaginar y construir alternativas de formato; en cambio, en la actividad propuesta por Moreno y colaboradores (2014), se recomienda el formato largo, pero no se aborda el tema como algo importante más allá de la comodidad para el juego que se propone.

De los cuatro artículos cuyas propuestas tienen en cuenta la diversidad de formatos, hay tres que proponen actividades de clase sobre ello, mientras que el cuarto (Camacho, Gallego y Pérez 2007) se trata de un análisis de libros de texto. Entre las tres propuestas de actividades, encontramos una secuencia didáctica que incorpora el tema mediante una consulta que se pide a los alumnos para que conozcan algunas representaciones alternativas (Gutiérrez 2003). Pero sólo dos (Anta 2013; Bent y Weinhold 2007) usan la diversidad misma como una herramienta didáctica para ayudar a que los estudiantes reflexionen sobre el hecho de que la tabla periódica puede ser una herramienta flexible mientras la usan para aprender sobre ella y puedan ver relaciones que posiblemente no verían en los esquemas que ofrecen los libros.

El resto de artículos que agrupamos en esta categoría usan el formato tradicional de maneras más o menos flexibles. Es importante señalar que, aunque en ellos no se cuestionan el formato tradicional, la mayoría busca hacer evidentes diversas relaciones entre los elementos, más allá de las de grupo y período, o bloques tradicionales. En este sentido, resaltamos el texto de Rodgers (2014) que propone íconos para señalar diversas relaciones sobre una tabla periódica y el de los cartogramas de Winter (2011) que ayudan a visualizar tendencias que son difíciles de ver sólo con los datos numéricos.

A pesar de que hay pocas actividades diseñadas con el fin de tratar el tema del formato como un problema explícito, vale la pena señalar que las propuestas que lo hacen le dan a la tabla periódica un papel más flexible que el que se le suele dar tradicionalmente al presentarla como si fuera un producto acabado. A la luz de la comparación entre el tratamiento que se le da al tema en los artículos teóricos y el que se le da en las actividades que se proponen para las clases, consideramos que se trata de un tópico que nos puede dar elementos para caracterizar las funciones didácticas de la tabla periódica.

Si se presenta la tabla periódica como una fórmula establecida de la manera que se suele hacer en los libros de texto, como un esquema fijo a partir del cual se puede saber determinada información sobre los átomos de los elementos a partir de la posición (y viceversa), tal vez no sea necesario cuestionar o revisar la forma de la tabla periódica; pero si se usa también como una herramienta de explicación, como una guía para imaginar estructuras y para construir el átomo y, en definitiva, para modelar, vale la pena, al menos, considerar que la forma de representar la periodicidad no es única y universal, sino que

depende de los criterios con los que se construye. Sin abordar ahora la cuestión de hasta qué punto debería someterse a los estudiantes (y en qué niveles) a los posibles formatos (y cuáles), al menos podemos afirmar que las funciones didácticas también están determinadas por la manera en que los profesores, o los libros de texto, abordan o desatienden la cuestión del formato.

Sobre la explicación de la periodicidad y el estatus de la ley periódica

En las categorías relacionadas con estos aspectos podemos encontrar tres propuestas de actividades; el resto de artículos plantean investigaciones que reportan resultados de análisis de libros de texto. Los análisis de libros de texto coinciden en que es importante que éstos presenten la TP como una construcción colectiva, que no fue construida sólo como una inspiración a partir de la observación empírica, sino que también tuvo bases teóricas y especulativas. Pero en las actividades propuestas para las clases no se ven reflejadas estas mismas ideas.

Entre los artículos que plantean actividades de clase, encontramos una secuencia didáctica (Gutiérrez 2003), una propuesta de reglas para el llenado de orbitales según la zona concreta de la tabla periódica (Schwarz 2010) y una guía para trabajar la historia de la ciencia desde el punto de vista de los errores científicos (Giunta 2001).

Las actividades que se proponen en los otros artículos, aunque interesantes, están diseñadas de manera que la tabla periódica parece más bien un esquema acabado, rígido, que debe ser explicado (en el mejor de los casos) y confirmado por las configuraciones electrónicas, y cuya función se reduce a la clasificación de información catalogada.

Sobre juegos y otros tipos de actividades

A pesar de la gran cantidad de artículos que proponen juegos y actividades lúdicas, y la aparente variedad de juegos que encontramos en la muestra, las formas de usar la tabla periódica en estos trabajos no es genuinamente diversa. La mayoría de las actividades lúdicas que van más allá de ayudar a memorizar y familiarizar a los estudiantes con las propiedades de los elementos, se dedican a entrenarlos para relacionar correctamente la regla de Madelung, el número de partículas nucleares de los átomos y la posición en la tabla periódica. Este aprendizaje de la configuración electrónica, como un código de búsqueda

en un archivo, para acceder a la gran cantidad de información que tiene la casilla de un elemento, es importante, sobretodo si los exámenes de selectividad se centran prácticamente en ello, pero no es el único uso ni el más motivador intelectualmente, como sugieren tantos de los artículos teóricos que hemos citado y que se publican en las mismas revistas.

Rescatamos tres trabajos que proponen actividades lúdicas en las cuales se usa la tabla periódica de manera diferente. Los trabajos de Wiediger (2009), Larson et al. (2012) y Joag (2014), reportan iniciativas que permiten el uso de la tabla periódica con funciones que van más allá del código de clasificación. En estos trabajos se pretende desarrollar un tipo de competencias en la búsqueda de patrones, y en el uso de éstos como herramienta de predicción. En estas actividades, la tabla periódica funciona como una herramienta de modelación, aunque se queda en un nivel de abstracción que no acaba de conectar con la química de las sustancias.

Estas actividades son variaciones de los juegos de cartas que se proponen con el objetivo de que los estudiantes sigan un razonamiento similar al de Mendeleiev para construir la TP. De este tipo de actividades, vale la pena resaltar que el que propuso Bensaude-Vincent (1994) podría resultar más novedoso y motivador que muchas de las propuestas publicadas en los últimos años.

Entre los trabajos que plantean otros tipos de actividades (no lúdicas) también encontramos poca variedad en la manera de utilizar la tabla periódica. Los más interesantes (García-Carmona 2006; Taber 2003; Tan et al. 2005; Taber y Tan 2007; Tan et al. 2008; Tan y Taber 2009; Eymur, Çetin y Geban 2013) están centrados en la interpretación electrostática de las características de los átomos, haciendo un uso pertinente y exigente a nivel cognitivo y competencial de la tabla periódica, en el que la periodicidad está relacionado con las características de cada átomo, individualmente, y de las relaciones físicas entre sus partículas. Estos trabajos también interesantes y rigurosos, quedan desconectados de la química de las sustancias para centrarse más en el átomo físico.

Este análisis de lo que nos dicen las revistas de investigación didáctica sobre la tabla periódica nos sugiere preguntas que orientan nuestro análisis de los libros y de la actividad

docente. En el capítulo siguiente retomamos estas ideas para diseñar la plantilla de análisis de libros de texto y la encuesta para los profesores.

Capítulo 4

Metodología: diseño de instrumentos de recogida de datos y análisis de contenido sobre la enseñanza de la tabla periódica en los libros de texto y en las clases

Este capítulo está estructurado en dos partes. En la primera parte presentamos algunas consideraciones generales sobre la metodología que hemos seguido y en la segunda parte describimos el diseño de los instrumentos de recogida de datos y de análisis de contenido de los libros de texto y de la actividad docente.

4.1 Consideraciones generales sobre la metodología

Con el propósito de identificar la función didáctica de la tabla periódica, como ya lo explicamos en el primer capítulo, hemos querido indagar en tres contextos: la investigación e innovación didáctica, los libros de texto y los profesores. Al preguntarnos sobre los posibles instrumentos de análisis que utilizaríamos (propios o “prestados”) y emprender una revisión bibliográfica general para conocer qué y cómo se está investigado sobre el contenido específico de la tabla periódica, consideramos la posibilidad de idear una metodología en la cual nos sirviera de base, para el diseño de dichos instrumentos, una visión global de la revisión bibliográfica. Por ello decidimos elaborar una revisión bibliográfica sistemática mediante una clasificación por categorías emergentes tal como la describimos en el capítulo anterior.

Desde el principio de la revisión nos llamó la atención la brecha que estábamos viendo entre la reflexión teórica y la innovación didáctica publicada en las mismas revistas; se nos ocurrió que sería interesante diseñar un primer instrumento que nos permitiera comparar los dos ámbitos. Decidimos, pues, dividir la muestra de revistas en dos subconjuntos y establecer una clasificación por categorías emergentes según los núcleos conceptuales con mayor presencia en los artículos “teóricos” y clasificar los otros artículos según estas mismas categorías. De esta manera, pudimos hacer una comparación entre los dos

subconjuntos de artículos y establecer las primeras directrices sobre qué es lo que nos sería útil preguntar a los profesores y qué es lo que nos sería útil buscar en los libros de texto para hacer comparaciones entre los tres contextos que hemos querido analizar.

Usando estas directrices, hemos diseñado una encuesta para suministrar a un grupo de profesores y una plantilla de análisis para aplicar a una muestra de libros de texto. A partir de los ítems considerados para la elaboración de la encuesta y la plantilla, también diseñamos un instrumento para analizar tanto las respuestas de los profesores como los datos extraídos de los libros. Una vez utilizados los instrumentos de análisis e interpretación, cuyo diseño discutiremos en la segunda parte de este capítulo, pudimos obtener conclusiones sobre la función didáctica de la tabla periódica, tanto en los libros de texto como en la práctica docente de los profesores que entrevistamos y, finalmente, pudimos hacer comparaciones entre los tres ámbitos para responder a las preguntas de investigación y extraer las conclusiones finales. A continuación mostramos un esquema de la metodología general.

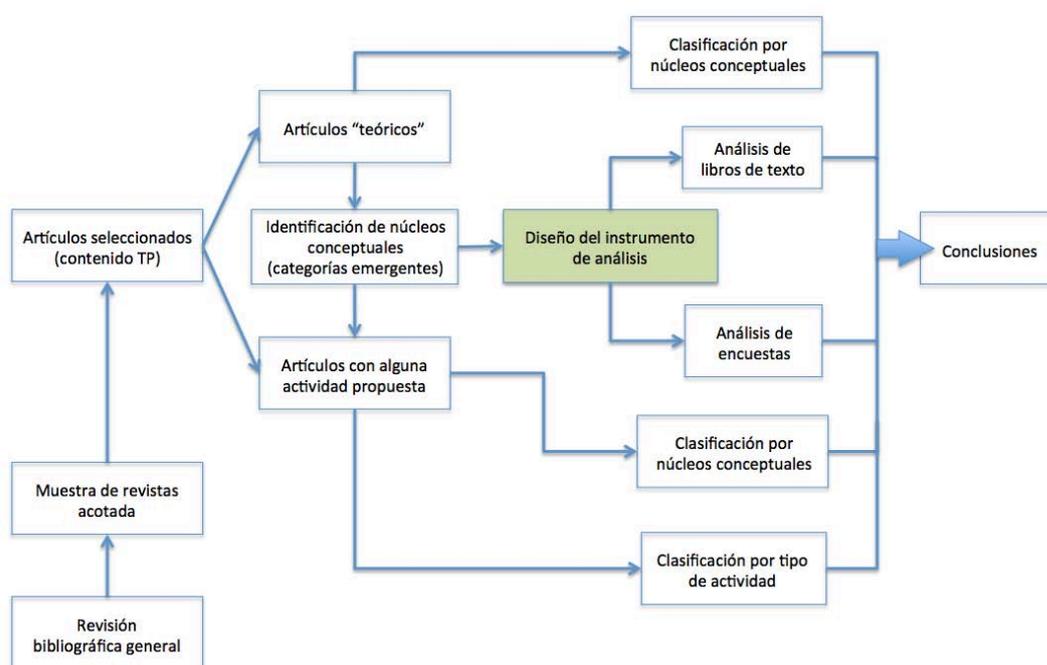


Figura 1. Esquema de la metodología general

4.2 Diseño de la encuesta y la plantilla de análisis

En la clasificación de los artículos teóricos destacamos los siguientes núcleos conceptuales, que configuran las categorías emergentes: el *concepto de elemento químico*, la *cuestión del formato de la tabla periódica*, la *explicación de la periodicidad* y el *desarrollo y aceptación del sistema periódico*. En las comparaciones que hicimos entre los artículos “teóricos” y los que proponen tanto actividades para las clases como análisis de recursos didácticos, encontramos discrepancias relativas a la importancia que se da a algunas cuestiones relacionadas con dichos núcleos conceptuales (como por ejemplo al papel del concepto de elemento químico en la enseñanza de la tabla periódica y a la problemática del formato). Algunos temas como estos que han suscitado una considerable producción de artículos de reflexión teórica no parecen tener la misma relevancia en las propuestas didácticas y en los libros de texto.

Es evidente que en el debate didáctico hay algunos “nudos” alrededor de estos núcleos conceptuales que siguen generando preguntas con pocas respuestas y que están muy relacionados con los usos que los profesores le damos a la tabla periódica, tanto en el momento de enseñarla como al preparar las clases y, por supuesto, al discutir sus fundamentos a nivel teórico, como lo demuestran los artículos citados.

Para diseñar un instrumento que nos permitiera tener información sobre las funciones didácticas que le otorgan los profesores a la TP y los libros de texto en relación con dichos núcleos conceptuales, consideramos que sería pertinente diseñar una encuesta y una plantilla de análisis mediante las cuales pudiéramos preguntar sobre las prioridades al utilizar tales conceptos cuando se introduce la tabla periódica. Esto es, preguntar por la pertinencia o no de tratar determinados aspectos concretos (por la presencia o no en el caso de los libros de texto), por la pertinencia o no de apelar a determinados usos de la tabla periódica, a utilizar determinadas “etiquetas” para referirse a los elementos químicos, a darle más importancia a determinados criterios para usar un formato de la tabla periódica, etc.

Partiendo de estas consideraciones, diseñamos una encuesta (y una plantilla de análisis de libros de texto) con preguntas articuladas en los siguientes temas: el concepto de elemento químico y la polisemia del término, el estatus y las posibles formas de representar de la ley periódica, la importancia de la tabla periódica y sus posibles utilidades didácticas y las diversas maneras de secuenciar los temas relacionados para enseñarla.

A continuación describimos cada una de las preguntas planteadas a los profesores (que corresponden a los mismos aspectos que configuran la plantilla de análisis para los libros de texto) y las sustentamos en el contexto de los núcleos conceptuales que hemos identificado en el análisis de los artículos que presentamos en el capítulo anterior. Junto con la sustentación de las preguntas y de los ítems correspondientes ofrecidos en cada una, también describimos el instrumento que usamos para interpretar las respuestas obtenidas en las encuestas, así como los datos extraídos de los libros de texto a partir de la plantilla de análisis.

4.2.1 Preguntas sobre el concepto de elemento químico

En el marco teórico nos hemos referido a las relaciones existentes entre las diferentes visiones de los profesores sobre la entidad *elemento químico* y las diversas formas de abordar la tabla periódica en clase (Linares 2004). También nos referimos a las relaciones entre las visiones de *elemento químico* que comunican los libros de texto y las narrativas que usan para abordar el tema de la tabla periódica (Linares 2004; Agudelo, Marzábal y Izquierdo-Aymerich 2009). Estas relaciones, y la importancia del concepto en la producción de la investigación didáctica sobre la tabla periódica que se evidencia en el capítulo anterior, nos llevaron a considerar que uno de los aspectos clave en la caracterización de las funciones didácticas de la tabla periódica es, precisamente, las visiones de *elemento químico* que tenemos los profesores, así como la que comunican los libros de texto.

Para caracterizar tales visiones hemos considerado tres aspectos: La variedad de etiquetas que se utilizan para referirse a la entidad *elemento químico*, los diversos atributos que se le otorgan y las propiedades que se suelen usar para enseñar la periodicidad de los elementos químicos, es decir, las que en los libros de texto se suelen denominar como “propiedades periódicas”. Para cada uno de estos aspectos elegimos una lista de ítems a partir de la información encontrada en los artículos analizados y en una revisión inicial general de libros de texto. Como lo explicaremos en seguida, cada pregunta propone la lista de ítems para que los profesores elijan y califiquen el grado de pertinencia de tratarlas en sus respectivos cursos. En el caso de los libros de texto, como se explica en el capítulo siguiente, interpretamos la narración de cada texto para determinar cuáles ítems están presentes y si lo están de manera implícita o explícita.

Para interpretar las respuestas de los profesores y la presencia de los respectivos ítems en los libros de texto, hemos utilizado un esquema bidimensional (como un plano cartesiano), con una dimensión que llamamos “epistemológica” y otra que llamamos “ontológica”, representadas por los ejes horizontal y vertical respectivamente. El eje de la dimensión ontológica presenta en un extremo (extremo superior) el nivel macroscópico, el de las sustancias observables; y en el otro extremo presenta el nivel de los átomos (que aquí llamamos micro, por comodidad). El eje de la dimensión epistemológica presenta en el extremo derecho las visiones realistas y en el extremo izquierdo las visiones más conceptuales o simbólicas, que hemos llamado “abstracto”. Con estos dos ejes formamos un plano de cuatro cuadrantes que representamos en la siguiente: realista/macro, abstracto/macro, abstracto/micro y realista/micro.

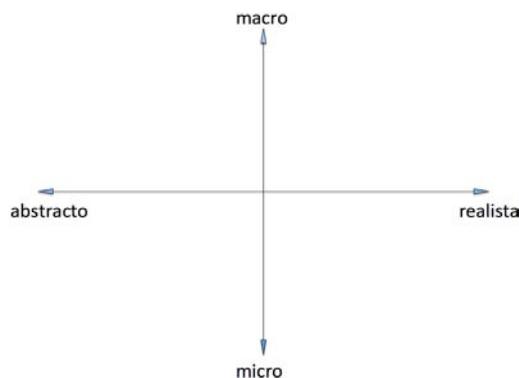


Figura 2. Ejes de las dimensiones "epistemológica" y "ontológica"

Es importante aclarar que este diagrama está diseñado como una herramienta que nos sirva de guía para comparar e interpretar las respuestas de los profesores a la encuesta que hemos diseñado y los ítems presentes en los libros de texto. Debemos aclarar también que, por las razones anteriores, las posiciones relativas de los ítems dentro de un mismo cuadrante fueron pensadas con criterios razonables que explicaremos a continuación, basados en la experiencia, y que nos facilitan “leer” las respuestas de los profesores de la manera interpretativa que iremos explicando.

Etiquetas para referirse al concepto “elemento químico”

Los profesores solemos usar diferentes etiquetas para referirnos a los elementos químicos y para definirlos. El uso de determinadas palabras o expresiones para referirnos a ellos nos puede dar pistas sobre la concepción de elemento que tenemos, o al menos sobre la que

comunicamos a los alumnos, porque en dichas etiquetas subyacen diversos tipos de información como por ejemplo el carácter atómico o sustancial de los elementos, o el carácter simbólico o material de dichas entidades; de ahí la utilidad del eje interpretativo que usaremos.

Para saber qué palabras acostumbran a usar las personas encuestadas, y para interpretarlas en relación con la visión de elemento, elegimos una lista de aquellas etiquetas que se usan más frecuentemente en los libros de texto y en los artículos que revisamos, y relacionamos cada una de ellas con una posición relativa en el plano que mostramos en la figura anterior.

A continuación presentamos la lista de etiquetas que usamos, su posición en el diagrama de interpretación y el enunciado definitivo de la pregunta, tal como lo presentamos a los profesores.

Sustancia simple (SS). Relacionada con la definición operativa de Lavoisier, según la cual una sustancia simple es una sustancia que no se puede descomponer en otras más simples por medios químicos, esta etiqueta representa un grado de realismo relativo en comparación con las otras etiquetas seleccionadas, y al estar referida a las sustancias observables la hemos colocado en el cuadrante realista/macro, de la siguiente manera:



Figura 3. Representación de "sustancia simple" en el plano

Sustancia elemental (SE). Etiqueta que proponen algunos autores para hacer referencia a la sustancia que no se puede descomponer en (ni formarse por combinación química de) otras sustancias. Esta etiqueta también se refiere al nivel macroscópico y a una concepción realista, pero está pensada teniendo en cuenta la dualidad del concepto de elemento y hace énfasis en la diferenciación de ésta dimensión "sustancial" con la dimensión abstracta del

concepto (Nelson 2006; Caamaño 2011; Raviolo 2009; IUPAC 2006). Por este motivo hemos considerado que cuando un profesor la usa es bien consciente de dicha diferenciación y con ella comunica una visión más compleja de elemento. Por este motivo hemos colocado la etiqueta al costado izquierdo de la anterior, como se puede ver en la figura siguiente:

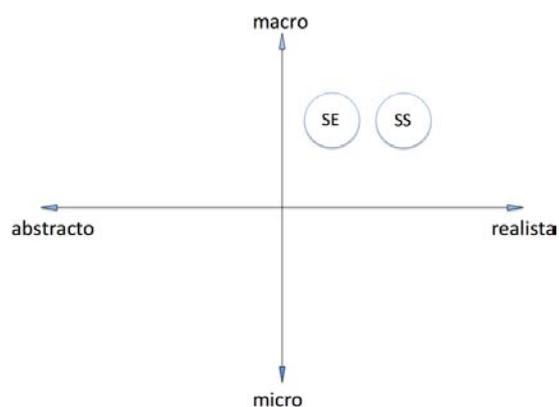


Figura 4. Representación se "sustancia elemental" en el plano

De la misma manera, fuimos colocando todas las etiquetas que se ofrecen en la pregunta para ser calificadas según el grado de pertinencia que considere cada profesor para usarlas o no en clase. A continuación presentamos el diagrama definitivo y nos referimos a las demás etiquetas.

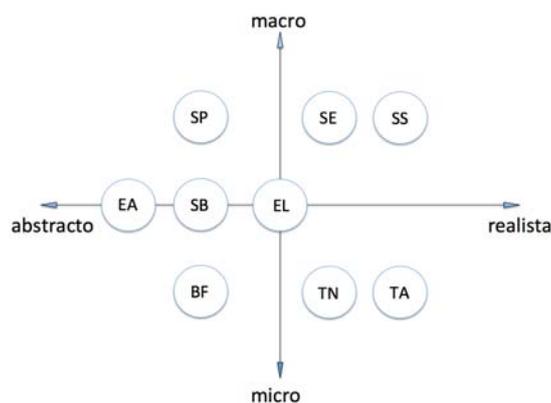


Figura 5. Representación de todas las etiquetas en el plano

Clase, tipo o especie de átomo (TA). Esta etiqueta se utiliza frecuentemente en las definiciones de elemento químico después de la aclaración de Friedrich Paneth, quien retomó la concepción metafísica del concepto de elemento de Mendeleiev y propuso diferenciar entre

la entidad inmaterial (como sustancia básica) y la entidad material de la *sustancia simple* (Ghibaudi, Regis y Roletto 2013; Marinho 2002; Lacerda, Campos y Marcelino-Jr 2012). Se suele enseñar en los cursos después de la definición operativa de elemento, al pasar de la realidad macro a la realidad atómica, muchas veces sin hacer énfasis en que fue inventada en el contexto del modelo daltoniano (López, Dulce y Furió-Mas 2005). Esta etiqueta está presente en la definición de elemento adoptada por la IUPAC (2006), ampliamente citada en los libros de texto y cuyo uso, como afirma Nelson (2003) citado por Ghibaudi y colaboradores, “... *compel students to approach chemistry from the viewpoint of the microscopic world of atoms and atomic structures*” (2013, p. 1629). Por esto la hemos ubicado en el cuadrante realista/micro, y porque cuando los libros de texto presentan alguna definición que la contiene, generalmente están comunicando (implícita o explícitamente) que el tipo de átomo que caracteriza a un elemento está determinado por la cantidad de protones, considerados como una realidad física.

Clase, tipo o especie de núcleo (TN). Esta etiqueta suele usarse prácticamente como sinónimo de la anterior. Algunos autores la rechazan por la confusión que puede crear (Ghibaudi, Regis y Roletto 2013) y otros la defienden pero afirman que se debe especificar la cantidad de protones, o el valor de la carga, como atributo compartido entre los núcleos de la misma clase para evitar la confusión, y que se debe aclarar además que el tipo de núcleo está determinado por el número de cargas positivas o la cantidad de protones (Raviolo 2009; Jensen 1998). En el esquema la hemos puesto en el cuadrante realista/micro al mismo nivel de la etiqueta anterior.

Sustancia básica (SB). Es la etiqueta que se usa como traducción del término alemán “*Grundstoff*” acuñado por Paneth (Mahootian 2013) para hacer énfasis en el carácter abstracto del elemento y diferenciarlo del carácter realista de la sustancia simple. Por esta razón la hemos ubicado en la parte abstracta del diagrama, pero la situamos sobre el eje epistemológico porque puede representar tanto el nivel macroscópico como el nivel microscópico.

Sustancia pura (SP). Esta etiqueta suele usarse para agrupar los elementos y los compuestos, al diferenciar este tipo de sustancias de las sustancias compuestas (Raviolo 2009). La hemos colocado en el cuadrante abstracto/macro por el hecho de referirse al mundo de las sustancias observables pero con un grado de abstracción e idealidad mayor que la sustancia

simple y que la sustancia elemental por la idea de pureza. Este término es discutido por algunos autores porque sugiere la existencia de “sustancias impuras”, por lo cual, como dice Raviolo (2009, p. 316) “*La diferencia entre sustancia y mezcla se torna sutil y abstracta*”.

Entidad abstracta (EA). Se trata de una etiqueta poco utilizada como tal, que considera el elemento como portador de propiedades pero cuya manifestación es diferente según la combinación química que esté formando. Quisimos ofrecerla en la encuesta para que los profesores tuvieran la opción de expresar la concepción más abstracta del elemento de manera explícita. Está colocada de la misma manera que la etiqueta SB pero un poco más hacia la izquierda para tener en cuenta que si un profesor la considera importante es porque tiene presente este aspecto conceptual del concepto de elemento químico.

Bloque fundamental de la materia (BF). Algunos libros de texto la usan para identificar los elemento como unidades a partir de las cuales se forma toda la materia (Raviolo 2009). También se presenta en ocasiones como un símil para los átomos (químicos). A veces se usa paralelamente o en sinonimia con otros símiles como el de los “ladrillos” o “bloques de construcción”. La hemos ubicado en el cuadrante abstracto/micro porque sugiere el átomo químico visto como una unidad másica de reacción.

Elemento (EL). También hemos puesto la palabra *elemento* en la lista de opciones pensando que algún profesor considerara que ninguna de las otras fuera pertinente (de todas maneras habíamos puesto la opción de poner otra que el profesor no encontrara en la lista). En el diagrama es completamente neutra respecto a las dos dimensiones por ser la etiqueta que abarca todas las otras y que contienen todas las acepciones, por esto la colocamos en el centro.

Con estas ideas construimos la primera pregunta de la encuesta:

Pregunta 1. *Qualifiquen d'1 a 4 les següents "etiquetes" que es fan servir per anomenar l'entitat element químic, segons la pertinència de fer-les servir en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).*

	ESO	BATX
Substància simple		
Substància bàsica		
Classe, tipus o espècie de nucli		
Classe, tipus o espècie d'àtom		
Bloc fonamental de la matèria		
Substància elemental		
Entitat abstracta		
Element		
Substancia pura		
Una altra...		

Atributos para caracterizar a los elementos químicos

Los atributos que usamos los profesores para caracterizar a los elementos químicos frecuentemente están relacionados con las diversas definiciones y con determinadas concepciones o visiones. Algunos de estos atributos están relacionados también, directa o indirectamente, con las etiquetas del apartado anterior. Para saber qué atributos acostumbramos a usar de manera más frecuente y para interpretar este uso en relación con la visión de elemento, hemos elegido una lista de los que están más presentes en los libros de texto y en los artículos revisados, y hemos relacionado cada uno de ellos con una posición relativa en el plano constituido por los mismos ejes del apartado anterior (epistemológico y ontológico).

A continuación presentamos la pregunta formulada, el esquema para interpretar las respuestas y cada una de los atributos ofrecidos para que los profesores califiquen, así como las siglas con que los hemos representado en el diagrama.

Pregunta 2. *Qualifiquen d'1 a 4 els següents atributs dels elements químics, segons la pertinència de fer-los servir en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).*

	ESO	BATX
No es pot descompondre per mitjans químics		
Sobrevis el canvi químic		
Es caracteritza pel nombre atòmic		
Es caracteritza pel seu lloc a la TP		
Es caracteritza pel nombre de protons		
Manca de propietats macroscòpiques		
Es caracteritza per la massa atòmica		
Es caracteritza per la càrrega nuclear		
Un altre...		

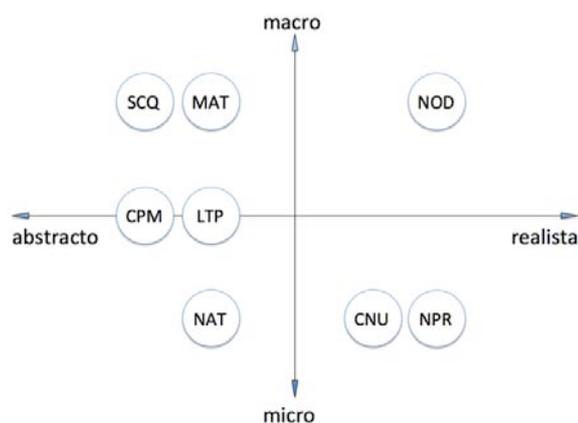


Figura 6. Esquema de interpretació de los atributos (pregunta 2)

No se puede descomponer por medios químicos (NOD). Este es uno de los atributos relacionados con la etiqueta de sustancia simple y parte del enunciado de la definición operativa de Lavoisier; en correspondencia con ello a hemos colocado en el cuadrante realista/macro.

Sobrevive al cambio químico (SCQ). Este atributo está relacionado con la concepción abstracta del elemento químico que se mantiene en las sustancias que forma como portador de propiedades, que se manifestarán de diversas maneras según el tipo de sustancia que forman. A este atributo se apela, por ejemplo, en la secuencia didáctica propuesta por Caamaño (2011) en la cual se describe un ciclo de reacciones a partir del cobre metálico,

que permiten recuperar este metal después de pasar por nitrato de cobre, hidróxido de cobre y óxido de cobre. En el diagrama de análisis la hemos colocado en el cuadrante abstracto/macro.

Se caracteriza por el número atómico (NAT). Esta característica, que se les atribuyó a los elementos inicialmente como una posición en la tabla periódica, es decir, como un atributo ordinal, abstracto, coincidió después con el número de protones desde los primeros modelos nucleares del átomo. Actualmente en los libros de texto se suele relaciona directamente con el número de protones pero mantiene su carácter ordinal y de criterio primario de ordenación, por lo tanto la hemos colocado en el cuadrante abstracto/micro.

Se caracteriza por su lugar en la TP (LTP). Este atributo es el que corresponde a al original del número atómico como número ordinal, por lo tanto, si un profesor lo considera importante está dando indicios de una visión abstracta del elemento químico pues se refiere de manera explícita a un atributo simbólico. Consideramos que es neutro en cuanto a la dimensión ontológica porque no se refiere al nivel macro ni al nivel micro; es por esto que lo hemos colocado sobre el eje epistemológico que divide los dos niveles, entre los cuadrantes macro/abstracto y micro/abstracto.

Se caracteriza por el número de protones (NPR). El uso de este atributo refleja una mirada realista y microscópica del elemento, al considerar la existencia física de las partículas nucleares que representan la identidad del átomo de cada elemento. Suele estar asociada con las etiquetas tipo de átomo o tipo de núcleo, por lo que la hemos ubicado en el cuadrante realista/micro

Carece de propiedades macroscópicas (CPM). Suele estar asociada con las etiquetas de carácter más abstracto *entidad abstracta* o *sustancia básica*, porque se remite a la idea que Labarca y Zambon (2013) relacionan con la “potencia” en la filosofía aristotélica, es decir, lo que el elemento fue o puede ser. También la colocamos sobre el eje epistemológico (en el lado abstracto) porque en el análisis sobre visión de elemento la consideramos neutra en cuanto a los niveles macro y micro.

Se caracteriza por la masa atómica (MAT). Después del cambio de criterio primario de ordenación de los elementos, al pasar de la masa atómica al número atómico, la masa ha perdido importancia en cuanto a la caracterización de la identidad de los elementos en los

relatos más frecuentes de los libros de texto. Sin embargo, cuando los profesores y los libros de texto abordan la definición de los elementos químicos a partir del modelo atómico de Dalton y sus relatos dan sentido a la formulación de la ley periódica a partir de ella, están usando una concepción abstracta y macroscópica del elemento químico. Por ello, hemos colocado el atributo en el cuadrante abstracto/macro.

Se caracteriza por la carga nuclear (CNU). Como ya habíamos mencionado antes, este atributo está asociado frecuentemente a la etiqueta *tipo de núcleo*, que suele caracterizarse mediante el número de protones y por relación directa mediante la cantidad de cargas positivas. Por lo tanto, la hemos puesto en el cuadrante realista/micro, al mismo nivel de la etiqueta NPR.

Propiedades periódicas

Debido a las limitaciones temporales en los cursos, y espaciales en los libros de texto, no se suelen abordar todas las propiedades de los elementos que podríamos considerar periódicas al tratar la tabla periódica. Esta limitación hace que cada profesor elija las que considera más importantes y esto nos puede dar criterios para describir las visiones de elemento, ya que unas se refieren más al átomo, otras a las sustancias macroscópicas, otras al elemento como entidad abstracta, etc. Por otra parte, la elección de las propiedades periódicas también nos puede aportar criterios para caracterizar las funciones de la tabla periódica, porque, como hemos visto en los artículos citados, hay algunas propiedades cuya periodicidad es más evidente que la de otras, al menos en el sentido estricto de la palabra “periódicas”, puesto que se puede apreciar fácilmente su repetición en una posición determinada de cada período. Por ejemplo, si un profesor considera más pertinente enseñar la reactividad química, como una propiedad periódica, que el radio atómico o el potencial de ionización, debe usar la tabla periódica de una manera más flexible que otro profesor que considera lo contrario, puesto que estas dos últimas son las que más se usan para demostrar cierta exactitud en la tabla periódica.

Es importante señalar que, aunque las propiedades periódicas usadas en los diversos relatos de los libros de texto ya han sido relacionadas con la visión de elemento (Agudelo, Marzábal y Izquierdo-Aymerich 2009), el análisis que hacemos aquí se basa en una mirada global de todas las respuestas. Hemos pensado cada ítem por separado como un posible indicador (y cada pregunta con diversos ítems) que, visto de manera aislada no permite la interpretación directa.

La pregunta que se refiere a las propiedades de los elementos que los profesores consideran más pertinentes para enseñar como propiedades periódicas, es la tercera pregunta y está formulada de la siguiente manera:

Pregunta 3. *Qualifiquen d'1 a 4 les següents propietats dels elements químics, segons la pertinència de fer-les com a propietats "periòdiques" en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).*

	ESO	BATX
Energia d'ionització		
Densitat		
Fórmules dels compostos que forma		
Valències		
Electrons de valència		
Nombres d'oxidació		
Tipus d'orbital de l'últim electró		
Capacitat de combinació química		
Radi atòmic		
Caràcter metàl·lic		
Configuració electrònica de valència		
Afinitat electrònica		
Radi iònic		
Reactivitat		
Electronegativitat		
Punts d'ebullició i de fusió		
Estructura de la substància simple		
Una altra...		

Con los ítems que ofrecemos para calificar construimos el siguiente esquema, que tiene las mismas dimensiones que los que usamos para interpretar las dos preguntas anteriores:

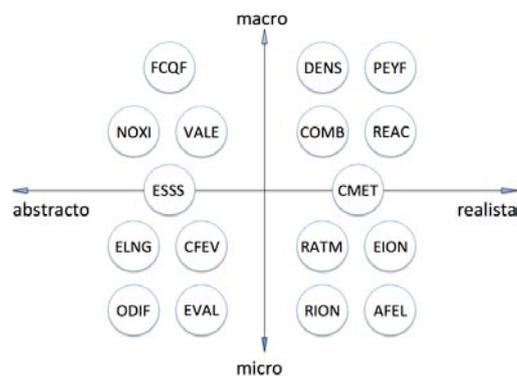


Figura 7. Esquema de interpretación de las propiedades (pregunta 3)

En el cuadrante realista/macro hemos puesto las siguientes propiedades periódicas: *densidad* (DENS), *puntos de ebullición y de fusión* (PEYF), *capacidad de combinación química* (COMB) y *reactividad* (REAC). La expresión *capacidad de combinación química* se usa en algunos artículos y libros de texto como sinónimo de “valencia”, o como parte de su definición. En su trabajo sobre la valencia, que forma parte de la muestra de artículos que analizamos, Chamizo y Gutiérrez citan, por ejemplo, las palabras de Pauling (2004, p. 361) que usa esta sinonimia. En el cuadro cronológico que se presenta en este artículo también aparece varias veces la expresión *capacidad de combinación química*. Ahora bien, en los resultados del análisis de libros de texto que se reportan en dicho artículo, se evidencia que “no hay consenso [...] sobre la importancia del concepto de valencia, ni como capacidad de combinación de átomos y radicales, ni como concepto previo...” (2004, p. 365). Decidimos ofrecer las dos propiedades diferenciadas en la encuesta (valencia y capacidad de combinación química) porque es posible que algunos profesores se identifiquen más con una que con la otra y sería interesante saber si es así o si las dos obtienen el mismo reconocimiento por parte de cada persona. Es importante aclarar que en el esquema de análisis las colocamos en dos cuadrantes diferentes, ambas en el lado macroscópico: la *valencia* en el cuadrante abstracto/macro y la *capacidad de combinación química* en el cuadrante realista/macro. Tomamos esta decisión porque la relación que se suele establecer entre reacción química y combinación química le puede dar un matiz más realista a esta última que a la valencia en las concepciones de los profesores.

En el cuadrante abstracto/macro ubicamos las *fórmulas de los compuestos que forma* (FCQF), las *valencias* (VALE) y los *números de oxidación* (NOXI). Las fórmulas, la valencia y los números de oxidación, han estado íntimamente relacionados entre sí en el desarrollo histórico de la química y entre ellos no hay diferencias significativas en cuanto a los grados de realismo-simbolismo y en cuanto a su carácter macroscópico. Por ello las tres propiedades están en

el mismo cuadrante y en el análisis las consideramos con el mismo “peso” interpretativo en ambas dimensiones.

En el cuadrante abstracto/micro colocamos los *electrones de valencia* (EVAL), la *electronegatividad* (ELNG), el *tipo de orbital del último electrón o electrón diferenciador* (ODIF) y la *configuración electrónica de valencia* (CFEV). La electronegatividad, junto con la afinidad electrónica, la energía de ionización y el radio atómico, es una de las propiedades periódicas que más se usa en los libros de texto para comprobar la periodicidad, pero en el diagrama la colocamos en la parte abstracta, a diferencia de las otras, basándonos en la “... *inexistencia de un acuerdo sobre el significado físico de la X [electronegatividad], lo que lleva a que cada definición [...] se base en diferentes propiedades o estructuras...*” (Salas-Banuet, Ramírez-Vieyra y Noguez-Amaya 2011a, p. 224). Incluso Leach propone que sea considerada “... *a transcendental property of the basic elemental substance...*” (2013, p. 27). Por otra parte, las definiciones de la electronegatividad, con precisiones diversas según el caso, están relacionadas con la capacidad de atraer electrones, y de ahí nuestra decisión de poner esta propiedad en el nivel atómico, por lo tanto queda ubicada en el cuadrante abstracto/micro.

La *energía de ionización* (EION), el *radio atómico* (RATM), la *afinidad electrónica* (AFEL) y el *radio iónico* (RION), se refieren a propiedades del átomo físico y cuando se estudia su variación en la tabla periódica, dicha variación se suele sustentar con las leyes de Coulomb que relacionan estas propiedades a través del contexto netamente físico, al nivel microscópico, o sub-microscópico para ser más precisos (Taber 2003; Taber y Tan 2007; Tan et al. 2008, 2005 ; Tan y Taber 2009; Eymur, Çetin y Geban 2013).

El *Carácter metálico* (CMET) y la *estructura de la sustancia simple* (ESSS) están colocados sobre el eje epistemológico porque las consideramos neutras en cuanto al criterio interpretativo del nivel macro-micro, pero cada una por razones diferentes. Cuando los libros de texto hablan de carácter metálico, se refieren a un conjunto de propiedades diversas, algunas de las cuales tienen que ver con el comportamiento de las partículas en la escala subatómica, como la tendencia a ganar o perder electrones, la conductividad eléctrica, etc.; en cambio otras propiedades se relacionan con la escala macroscópica como el brillo, la maleabilidad, etc. Hemos colocado el *carácter metálico* en la parte *realista* de la dimensión epistemológica porque tanto en la fundamentación microscópica como en la macroscópica está relacionada

con una concepción de elemento que considera a éstos como entidades físicamente existentes.

En cuanto a la *estructura interna de la sustancia simple*, cuando los libros de texto se refieren a ella se está hablando de un nivel intermedio entre el macroscópico y el atómico, un nivel meso, porque se refiere a la manera como interactúan unos cuantos átomos entre ellos y las estructuras que forman en esta interacción. Por este motivo la hemos puesto en el intermedio de los dos niveles, es decir, sobre el eje epistemológico. Adicionalmente, cuando se usan las estructuras internas de las sustancias como una propiedad que varía según la posición en la tabla periódica, se está haciendo una abstracción necesaria para imaginar una “arquitectura” estructural a partir de las características observadas. Esta abstracción, que corresponde a una manera interpretativa de explicar las propiedades, es la que nos ha llevado a ponerlo en el costado abstracto del eje epistemológico.

4.2.2 Secuencias para introducir la tabla periódica

Los libros de texto suelen introducir la tabla periódica después de haber tratado los modelos atómicos, que generalmente se presentan siguiendo una secuencia cronológica y explicando los experimentos más conocidos que hicieron evidente la existencia de las partículas que componen los átomos: primero los electrones, luego el núcleo con protones y luego los neutrones.

En su tesis doctoral, cuyos resultados están resumidos en uno de los artículos que forman parte de la muestra que analizamos, Rita Linares (2004, 2005), describe los diversos “camino” que usan los profesores para comenzar la enseñanza de la tabla periódica y la relación que tienen tanto con la visión de elemento químico como con las funciones que le otorgan a la tabla. Por otra parte, en un artículo que analiza las respuestas de expertos a preguntas relacionadas con “¿Qué enseñar en secundaria sobre la tabla periódica?”, Franco-Mariscal y Oliva-Martínez (2013c, p. 51) reportan las “*propuestas de secuenciación de contenidos de algunos expertos consultados*”. Claramente, encontramos una diversidad de opiniones que están relacionadas con las prioridades que cada experto da a determinados conceptos y con las visiones didácticas sobre la tabla periódica.

Desde nuestra posición teórica, de acuerdo con Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo (2009) consideramos que no es conveniente introducir entidades químicas, como el átomo físico, con todas sus partículas, sin que antes los alumnos comprendan que dichas entidades son necesarias para explicar los fenómenos observables a escala macroscópica. Esta idea, siguiendo con Izquierdo y Adúriz, es consecuente con el desarrollo histórico de los modelos de átomo (físico) cuya construcción y modificación fue motivada, entre otras cosas, por la necesidad de explicar el sistema periódico. Mientras se buscaban y construían estructuras internas de las sustancias que lo explicaran, el sistema periódico fue cambiando, pasó de ser un sistema de átomos químicos indivisibles e individualizados a un sistema de átomos físicos divisibles, transformables unos en otros mediante las reacciones nucleares, en los cuales el mismo Mendeleiev no tenía confianza y no les auguraba una buena relación con su sistema periódico ni con su idea de átomo. En el trabajo citado aquí (que forma parte de la muestra analizada en el capítulo anterior), Izquierdo y Adúriz se preguntan si es conveniente recorrer el camino inverso, como se suele hacer en los libros de texto y nosotros nos basamos en esta cuestión para proponer los ítems de la siguiente pregunta, con la cual buscamos conocer cuál es la secuenciación con que los profesores entrevistados enseñan la tabla periódica. Para ello hemos considerado los ítems más usados en los libros de texto y los hemos puesto en la pregunta para que cada profesor los ordene como considere adecuado, enumerándolos de 1 a 14 como se puede ver a continuación.

Pregunta 4. Etiqueteu amb nombres ordinals els ítems següents segons la seqüència que consideris més adient per introduir la TP (0: ítems no adequats, 1: primer ítem, 2: segon ítem, 3: tercer ítem, etc.).

	ESO	BATX
Relació entre configuració electrònica i lloc a la TP		
Propietats periòdiques d'àtoms		
Àtom de Bohr		
Configuració electrònica		
Àtom mecànic – quàntic		
Electrons de valència		
Propietats periòdiques de substàncies		
Model atòmic de Rutherford		
Model atòmic de Dalton		
Taula Periòdica de masses atòmiques		
Taula Periòdica de nombres atòmics		
Relació entre electrons de valència i comportament químic		
Explicació electrostàtica de la variació periòdica de propietats		
Relació entre propietats de substància i estructura interna		

Para interpretar las respuestas de los profesores, también hemos colocado cada ítem en uno de los cuadrantes del esquema epistemológico/ontológico, como se ve en la figura siguiente. A continuación, explicamos los ítems y su colocación en el esquema de análisis. Como explicaremos en el capítulo siguiente, el esquema nos ayudó a “leer” la secuencia de manera gráfica para facilitar la interpretación. Para ello esta vez no colocamos las siglas dentro de los círculos, sino que usamos un código de colores para identificar cada ítem, y así dejar el círculo vacío para el número que cada profesor le adjudicó, según el orden de su elección. El esquema de análisis, con los ítems en los cuadrantes mencionados y el código de colores que los representa, quedó de la siguiente manera:

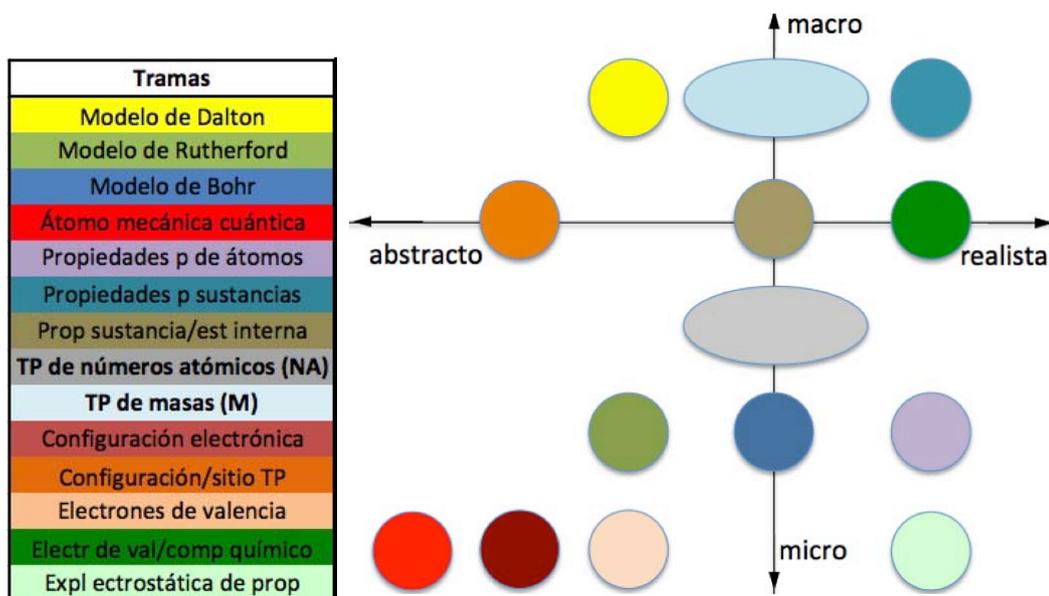


Figura 8. Esquema para interpretar el orden de las secuencias (pregunta 4)

Como se puede ver, los ítems están colocados de manera aleatoria en la pregunta de la encuesta, pero aquí los presentaremos en el orden más habitual generalmente encontrado en los libros de texto. No obstante, las dos ordenaciones son arbitrarias, la de la pregunta y la que usamos aquí para explicar los ítems: en la encuesta los colocamos intencionalmente desordenados respecto a cualquier secuencia coherente para evitar condicionar alguna en especial, y para explicarlos elegimos el orden más habitual por facilidad.



Modelo atómico de Dalton. Generalmente se presenta como el primer modelo atómico y se formulan los postulados de la teoría atómica. A veces se describe con ejemplos de proporciones de masa fijas en las reacciones químicas y se aprovecha para explicar el concepto de masa atómica relativa calculada con los porcentajes de abundancia isotópica. También se suele usar para enseñar la fórmula empírica y diferenciarla de la molecular. Cuando se presenta así, se está superponiendo el concepto de masa relativa que usaba Dalton y, posteriormente Mendeleiev, referido a las reacciones químicas, con el concepto de masa relativa calculada a partir de las abundancias isotópicas. En el diagrama de análisis hemos colocado este ítem en el cuadrante abstracto/macro porque se refiere a la cantidad proporcional de reacción y a la idea de átomo químico con la que se contaba en la época del congreso de Karlsruhe, en un momento en el que no se tenían indicios de la existencia física del átomo y muchos químicos lo usaban como una herramienta de cálculo pero no

estaban seguros de que correspondiera a una partícula (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo 2009).



Modelo atómico de Rutherford. Antes de explicar este modelo, en las secuencias habituales se suele describir el experimento de los rayos catódicos (la descarga en tubos de vacío) que, también según los relatos más comunes, conduce al descubrimiento de los electrones y con ello a la formulación del modelo de Thomson (que no incluimos en los ítems para no alargar la pregunta). En los relatos lineales, también frecuentes, para pasar de un modelo a otro se explica el experimento de la lámina de oro bombardeada con partículas alfa que sirve para demostrar a los lectores la existencia del núcleo con carga positiva. En pocos libros se describe el modelo cúbico con el que Lewis explicaba el enlace químico. En el diagrama de análisis hemos colocado el modelo de Rutherford en el cuadrante abstracto/micro porque representa la “entrada” a las partículas subatómicas pero generalmente se presenta como un modelo incompleto y aún no representa el átomo “real” físico que acaban enseñando la mayoría de libros de texto.



Modelo atómico de Bohr. Según el nivel escolar, algunos libros de texto explican las dificultades energéticas del modelo anterior afirmando que, si el átomo tuviera las características que describe, los electrones acabarían precipitándose en el núcleo al ir perdiendo su energía; y a partir de aquí se postulan las órbitas cuánticas del modelo de Bohr con un nivel conceptual (matemático) más bajo o más alto según el libro. Algunos libros de ESO no abordan el modelo de Bohr y tratan la tabla periódica a partir del modelo planetario o lo hacen a partir de variaciones como el “modelo de capas” o el “modelo de nube electrónica”. Hemos colocado el modelo de Bohr sobre el eje ontológico, en el lado “micro”, porque representa un intermedio entre las visiones realistas que tratan las propiedades periódicas de los átomos como entidades con existencia física y las visiones más conceptuales basadas en el átomo cuántico.

A partir del modelo de Bohr, la mayoría de las secuencias tradicionales suelen ser de dos tipos dependiendo del nivel escolar: las que comienzan a tratar la tabla periódica y las que, previamente, tratan el átomo mecánico cuántico.



Configuración electrónica. La configuración electrónica se suele enseñar para mostrar la correspondencia con la posición de los elementos en la tabla periódica, tanto si se explica antes o después. A partir de aquí, hay gran variedad en la forma de tratarla y en los usos que se le suelen dar. En correspondencia con el atributo “*Se caracteriza por su lugar en la TP*” (LTP) de la pregunta 2, que colocamos en el lado abstracto del eje ontológico, la configuración electrónica la hemos colocado en cuadrante abstracto/micro.



Relación entre configuración electrónica y sitio en la TP. En correspondencia con la anterior, hemos colocado este ítem sobre el eje epistemológico, es decir, como un nexo entre el nivel macro y el nivel micro, y en el lado izquierdo del esquema por su carácter abstracto.



Electrones de valencia. Este ítem lo hemos puesto justo debajo (y en el mismo cuadrante) del ítem “*átomo de Rutherford*” por considerarlos en el mismo nivel de abstracción.



Tabla Periódica de masas atómicas. Generalmente se presenta como “la tabla periódica de Mendeleiev” y algunas veces, aunque se resalta su importancia, también se acaba afirmando que no fue una construcción correcta porque se basaba en la masa atómica (en algunos casos se pone el ejemplo de las inversiones). A menudo podemos encontrar que se describen otros “intentos” de clasificación previos, de los cuales los que podemos encontrar más frecuentemente son las octavas de Newlands, las tríadas de Döbereiner y la tabla de Meyer. A esta última, a veces se le otorga el mismo nivel de importancia que a la de Mendeleiev, e incluso en ocasiones se usa el término “codescubridor” para referirse a Meyer, pero otras veces se explica que su tabla no llegó a ser tan importante porque no hizo predicciones como el ruso. Este ítem lo colocamos sobre el eje ontológico, en el lado macroscópico, porque se trata de una conexión entre los fenómenos químicos desde el punto de vista realista y la conceptualización. Desde cualquiera de las visiones en discusión sobre el estatus de la ley periódica que mencionamos en el capítulo anterior, se puede sustentar, aunque de maneras diferentes, esta función de nexo entre el mundo real y el mundo de las ideas, manteniéndose en el nivel macroscópico. Si aceptamos las versiones que la conciben como una ley empírica o como un esquema de ordenación, la

conceptualización está justificada en base al criterio de ordenación primario (la masa) y la agrupación por familias como criterio secundario. Por otra parte, si aceptamos las versiones que la conciben como teoría o modelo, basado en el átomo, también mantendría su carácter macroscópico porque se trataría del átomo de Dalton como proporción de reacción y no como partícula.



Propiedades periódicas de sustancias. Este ítem se suele tratar poco en el capítulo sobre la tabla periódica pero cuando se aborda, generalmente se hace para presentar el trabajo de Mendeleiev, describiendo algunas de las propiedades con las que él contaba para agrupar los elementos. Hay variabilidad en cuanto a la importancia que se le da a esas propiedades y al uso que se hace de ellas para referirse a la periodicidad; en algunos relatos sólo se presentan en dicho momento y después, cuando se explica la tabla periódica de números atómicos, se dedica toda la argumentación a las propiedades atómicas. Se trata del único ítem que hemos colocado en el cuadrante realista/macro.



Tabla Periódica de números atómicos. Se suele explicar con el relato de que ésta es la “correcta” y generalmente se menciona a Moseley como descubridor del nuevo criterio de ordenación. En algunos libros la denominan tabla periódica moderna, o tabla periódica actual, o tabla periódica de Werner y Paneth. Generalmente se trata de una de las versiones de 18 columnas que muestra a los lantánidos y los actínidos separados del cuerpo principal y, de éstas, se suele adoptar la versión de la IUPAC (la denominada 15LaAc). Pocas veces se muestra algún formato alternativo. Hemos colocado el ítem en la parte microscópica del eje ontológico porque, como decíamos, a partir de presentarla se suele continuar el relato con las propiedades periódicas de los átomos y pocas veces se vuelve a la periodicidad en términos macroscópicos. Generalmente se usa la afinidad electrónica, el potencial de ionización y el radio atómico (y a veces el radio iónico también) para mostrar y explicar sus variaciones a través de los períodos y los grupos. Se trata de un nexo entre la visión realista de los átomos, con las tres partículas principales y su interacción eléctrica y la visión abstracta del número atómico como número ordinal y de los orbitales como entidades matemáticas caracterizados por los números cuánticos.



Las *Propiedades periódicas de los átomos* y la *Explicación electrostática de la variación periódica de propiedades* están en el cuadrante realista/micro. Cuando se tratan las propiedades periódicas de los átomos, como la afinidad electrónica, la energía de ionización y el radio atómico como una prueba de la exactitud de la tabla periódica y de su buen funcionamiento respecto a la configuración electrónica, esto se suele hacer desde una perspectiva realista de los átomos y, de la misma manera, cuando esta variación se explica en términos de partículas cargadas y leyes de Coulomb como ya lo habíamos señalado en el ítem anterior y en la pregunta 3 sobre las propiedades periódicas.



Relación entre electrones de valencia y comportamiento químico. Esta relación se suele explicar usando la regla del octeto para identificar los tipos de enlace y la relación con la electronegatividad, o también para relacionar el nivel macro (hablando de reactividad) con el nivel micro, según lo que cada profesor considere importante enseñar como “comportamiento químico”. Para elegir su posición en el diagrama tuvimos en cuenta esta conexión entre el nivel de las sustancias macroscópicas y el nivel micro de los electrones. Ahora bien, podría considerarse tanto en el lado abstracto como en el lado realista, pero lo hemos puesto en el lado realista en correspondencia con el realismo del comportamiento químico.



Relación entre propiedades de la sustancia y estructura interna. Este ítem se refiere a la relación entre el nivel macroscópico de las sustancias y el nivel meso de las estructuras formadas por los átomos enlazados, un nivel que como ya habíamos dicho antes, es intermedio entre los que aquí consideramos como micro (el nivel atómico y subatómico) y el que consideramos macroscópico. Aunque en muchos libros de texto se aborda desde lo micro hacia lo macro, es decir, a partir de los tipos de enlace, en otros libros se aborda desde lo macro hacia lo micro. La hemos colocado en el centro del diagrama porque reúne todos los aspectos y cuando se usa de forma modelizadora sirve como conexión entre lo micro y lo macro y entre lo real y lo simbólico.



Átomo mecánico – cuántico. Aunque se suele abordar como el “modelo actual”, en algunos libros de texto se trata desde una visión realista ingenua. Normalmente se hace

énfasis en que muchas de las características que lo describen, como los orbitales atómicos y los números cuánticos, son entidades matemáticas que no tienen existencia física. Según el nivel conceptual (más bien diríamos matemático) del libro, se aborda con más o menos detalles la ecuación de onda y los números cuánticos. En el esquema interpretativo está en la posición más abstracta y más micro en comparación con los demás ítems.

4.2.3 Aspectos relacionados con la ley periódica y los formatos para representarla

Para conocer las prioridades que tienen los profesores sobre algunos aspectos relacionados con los formatos de la tabla periódica, el estatus de la ley periódica y la importancia relativa de los hechos que influyeron en su aceptación, hemos elaborado las preguntas 5, 6 y 7. Éstas están formuladas de manera similar a las anteriores, pero las respuestas de los profesores las analizamos con redes sistémicas mediante las cuales clasificamos los ítems ofrecidos en cada pregunta.

Aspectos sobre los formatos de la TP

La quinta pregunta presenta una lista de aspectos sobre la tabla periódica que están relacionados con el formato, pero el objetivo no es saber cuál es el formato concreto que usan los profesores, sino que queremos tener información de si se cuestionan o no la posibilidad de usar otros formatos y los criterios que usan, así como también la rigidez o flexibilidad en el momento de hacerlo. A continuación presentamos la pregunta tal como está formulada y las redes sistémicas con las que analizamos las respuestas.

Pregunta 5. *Qualifiqueu d'1 a 4 els següents aspectes de la TP segons la pertinència de tractar-los en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).*

	ESO	BATX
Diversos formats i possibles variacions de la TP actual		
La TP que feu servir presentada com la més exacta		
La TP que feu servir presentada com la més útil		
Diverses relacions entre elements com diagonals, en L, etc.		
Representacions tridimensionals de la Llei Periòdica		
Divisió de la TP per blocs s, p, d i f		
La TP que feu servir presentada com la que ensenya més relacions		
Triades d'elements amb els nombres atòmics		
La TP que feu servir presentada com l'única actual		

Estatus de la ley periódica

Mediante la sexta pregunta queríamos obtener información sobre la visión que tienen los profesores entrevistados sobre la ley periódica en relación con otras leyes, concretamente en comparación con las de la física. Como hemos visto en el capítulo anterior, la filosofía de la química, que se presenta como una disciplina relativamente nueva (en comparación con la filosofía de la ciencia), ha ido elaborando un discurso en el cual las leyes de la química pueden tener un estatus propio, independientemente de las de la física, con las que han sido comparadas durante gran parte del siglo XX por los filósofos de la ciencia. Esta comparación, que Emma Tobin (2013) denomina “*enfoque normativo*” (citando a la filósofa Sandra D. Mitchell), deja una impronta, más o menos evidente, en los relatos de muchos libros de texto y se manifiesta de diversas maneras. Una de las señales más comunes de este relato normativo en los libros de química, que se suele usar con la intención de realzar la importancia de la tabla periódica, es que se la intenta presentar como si fuera exacta o casi exacta, insistiendo en la correspondencia entre la configuración electrónica y la posición de los elementos en una fila y columna determinada. Algunas veces se muestran algunas “excepciones”, por ejemplo de la regla de Madelung, pero pocas veces se deja ver la complejidad que hay en la racionalización de los fenómenos químicos, y concretamente la periodicidad. Además, como decíamos antes, gran parte de las explicaciones y los ejercicios propuestos se centran en mostrar la periodicidad de las propiedades en las que ésta se ve

más clara y más exacta, sin dedicarle espacio a otros tipos de relaciones poco precisas y complejas pero igualmente importantes, que además hacen de la tabla periódica una herramienta más rica y dinámica. Cuanto más exactas se quieren presentar las relaciones, menos cantidad de éstas se pueden enseñar; en cambio, si se presentan más complejas e inexactas, se pueden mostrar más cantidad de relaciones y más diversas.

La pregunta es similar a las anteriores (exceptuando la 4 sobre las secuencias) pero con una pequeña diferencia: en ésta no preguntamos por la pertinencia de tratar en clase los ítems que ofrecemos en la lista, sino que preguntamos si los profesores están de acuerdo con enseñarlos (ya sea de manera implícita o explícita).

Pregunta 6. *Qualifiqueu d'1 a 4 els següents atributs de la Llei Periòdica segons si estàs d'acord en ensenyar-los en aquests nivells, sigui de manera explícita o implícita (4: molt d'acord, 3: d'acord, 2: en desacord, 1: molt en desacord).*

	ESO	BATX
És una llei científica com qualsevol altra		
És una llei característica de la química, diferent de les lleis físiques		
És una llei empírica		
És una llei que ha estat explicada per la mecànica quàntica		
És una llei aproximada		
És una llei exacta, però amb excepcions		
És una llei explicativa		
És una llei de classificació		
Es una llei (altre)...		

Predicciones, acomodaciones y correcciones

Los relatos más comunes en los libros de texto, sobre los argumentos que fueron más importantes para aceptar la tabla periódica en su momento, hacen énfasis en las predicciones exitosas de Mendeleiev, especialmente las del galio, el escandio y el germanio. En algunos libros se dan detalles de las propiedades predichas y se comparan con las “reales”. Pero, pocas veces se habla de los otros aspectos, o incluso de las predicciones fallidas de Mendeleiev. Las predicciones exitosas también han sido importantes para darle un determinado estatus a la ley periódica; el énfasis que se hace en ellas, descuidando otros méritos como por ejemplo la sistematización del conocimiento químico, también puede

comunicar una visión “normativa” de las leyes de la química y en concreto de la ley periódica.

Consideramos, pues, que preguntar a los profesores por estos aspectos también nos da información sobre la función que le otorgan a la tabla periódica, porque su posicionamiento frente a estos acontecimientos forma parte de la retórica para “convencer” a los alumnos de que la ley periódica, y por lo tanto la inscripción con que se representa, es importante y vale la pena aprenderla, aprenderla a usar y aprenderla a usar de determinadas maneras y con unos fines determinados.

En la pregunta 7, que tienen la misma forma de la anterior, hemos preguntado por los aspectos que los profesores consideran que fueron más importantes para aceptar la ley periódica por parte de la comunidad científica. Además de las tres citadas generalmente en este debate sobre la aceptación (Niaz 2013; Brito, Rodríguez y Niaz 2005; Scerri, Eric 2013), también agregamos otros aspectos que aunque no suelen plantearse como principales motivos para que fuera aceptada en la época de Mendeleiev, sí son logros importantes que se le pueden atribuir a la ley periódica y que serían elementos importantes de cualquier tipo de retórica para enseñar la tabla periódica y para argumentar sobre su importancia

A continuación citamos la pregunta tal como está en la encuesta y el esquema para analizar las respuestas.

Pregunta 7. *Qualifiquen d'1 a 4 les següents accions relacionades amb la llei periòdica, i que possiblement van ser importants en el debat de la seva acceptació per part de la comunitat científica, segons la pertinència de tractar-les en aquests nivells (4: molt d'acord, 3: d'acord, 2: en desacord, 1: molt en desacord).*

	ESO	BATX
Prediccions exitoses d'elements desconeguts i les seves propietats		
Donar indicis de l'existència d'una estructura interna dels materials		
Correcció i ajustament de dades d'elements ja coneguts		
Donar coherència al coneixement químic com a sistema		
Sustentar una concepció d'element químic abstracte e individual		
Donar indicis d'explicacions teòriques dels fets químics		
Donar indicis de l'existència física de l'àtom		
Sustentar el comportament matemàtic de la matèria		
Una altra...		

Razones para enseñar la tabla periódica

Con la última pregunta de la encuesta quisimos preguntar directamente cuáles son las razones que los profesores consideran más importantes para enseñar la tabla periódica. A continuación presentamos la pregunta y la red sistémica que utilizamos para agrupar las “razones” y ayudarnos a interpretar las respuestas, en relación con las funciones de la tabla periódica.

Pregunta 8. Qualifiqueu d'1 a 4 les següents raons per les quals pot ser important ensenyar la TP en aquests nivells (4: molt d'acord, 3: d'acord, 2: en desacord, 1: molt en desacord).

	ESO	BATX
Ensenya les semblances entre els elements químics		
Sintetitza gran part del coneixement químic		
És una de les idees més brillants de la nostra cultura científica		
Ajuda a explicar el comportament dels àtoms		
Ajuda a explicar la interacció química entre substàncies		
Ajuda a recordar les propietats dels elements químics		
Classifica els blocs fonamentals de la matèria		
Ajuda a relacionar el nivell macroscòpic amb el nivell simbòlic		
Permet predir possibles elements desconeguts fins ara		
Ajuda a explicar el comportament de les substàncies		
Evidencia el caràcter elèctric dels fenòmens químics		
Serveix com a eina per desenvolupar competències a la classe		
És una representació visual de tots els elements		
Suggereix l'existència d'estructures internes de les substàncies		
Permet ordenar i condensar molta informació en un espai petit		
Acompanya a conceptualitzar l'experiència química		
Permet predir fórmules químiques		
Ajuda a "fabricar" elements nous		
Una altra...		

Finalmente, es importante recordar que para el análisis de los libros de texto utilizamos una parrilla que tiene las mismas preguntas anteriores y los mismos ítems. La diferencia más importante entre las "preguntas" que hacemos a los libros de texto en relación con las preguntas que hicimos a los profesores, es que éstas tienen cuatro opciones de respuesta, mientras que las parrillas usadas para los libros de texto sólo tienen tres opciones: cuando una cuestión no se considera en el texto (1), cuando se considera de manera implícita (3), y cuando se menciona explícitamente (4). Usamos los calificadores 1, 3 y 4 para tener una relativa equivalencia con los calificadores 1, 3 y 4 de las preguntas a los profesores y así facilitar algunas comparaciones

Capítulo 5

Análisis e interpretación de los libros de texto

Este capítulo está estructurado en cinco partes. En la primera parte hacemos una breve descripción de la muestra de los libros que analizamos. En la segunda parte describimos con detalle el análisis de uno de los libros, justificamos la valoración de cada ítem mediante los factores que tuvimos en cuenta y presentamos los gráficos y las redes sistémicas que obtuvimos con dichos ítems (en el anexo 3 está la descripción detallada del análisis de los demás libros). En la tercera parte presentamos una interpretación conjunta de los datos que extrajimos de todos los libros analizados y describimos las tendencias más interesantes utilizando las tablas de frecuencias y los gráficos de interpretación bidimensionales. En la cuarta parte presentamos la interpretación del análisis de cada libro y elaboramos un perfil de cada uno teniendo en cuenta dichas interpretaciones. Finalmente, en la quinta parte, presentamos los resultados de los análisis realizados en las secciones anteriores y los relacionamos.

5.1 Descripción de la muestra

Hemos analizado 18 libros, de los cuales 12 son para bachillerato (que identificamos con los códigos **LB1** a **LB12**) y 6 para ESO (**LE1** a **LE6**). Los 18 libros fueron producidos por editoriales de prestigio y escritos por autores reconocidos, algunos de los cuales son investigadores en el área de la didáctica de las ciencias. Todos los libros de la muestra son frecuentemente utilizados en sus contextos y, como veremos más adelante, representan una variabilidad considerable en cuanto a la forma de introducir la tabla periódica.

Los 12 libros de bachillerato están distribuidos de la siguiente manera: dos de ellos corresponden a ediciones internacionales en castellano (**LB1** y **LB2**); de los restantes, 2 fueron editados para el Estado Español (**LB3** y **LB12**) y escritos por los mismos autores (con una diferencia de 13 años entre las dos ediciones), uno fue editado para Brasil (**LB5**), uno para México (**LB6**), uno para Colombia (**LB4**) y los otros 5 para Catalunya (**LB7**, **LB8**, **LB9**, **LB10** y **LB11**).

El conjunto de los 6 libros de ESO consta de uno que fue editado para México (**LE1**) y 5 para Catalunya. Entre los 5 editados para Catalunya, hay dos parejas que forman series (la misma editorial, los mismos autores, la misma organización y la misma estética; y están editados con un año de diferencia), éstos son: **LE3** y **LE4** de 3 y 4 de ESO respectivamente; y **LE5** y **LE6**, de 3 y 4 respectivamente.

Para elaborar el análisis hemos utilizamos la plantilla que describimos en el capítulo 4 y que, como habíamos dicho, tiene los mismos aspectos o “preguntas” que la encuesta que contestaron los profesores, cuyas respuestas analizamos en el capítulo 6. Como explicamos al final del capítulo anterior, las opciones de “respuesta” de cada aspecto están determinadas por diversos ítems que, en el caso de los libros, valoramos con un 4, un 3 o un 1, según los siguientes criterios: si el contenido del ítem está presente de manera explícita en el texto lo valoramos con un 4, si consideramos que está presente pero de manera implícita lo valoramos con un 3, y si no se menciona, ni está presente de manera implícita, lo valoramos con un 1. Esto se puede expresar considerando que se trata de valoraciones de “presencia explícita” (4), “presencia implícita” (3), o “ausencia” (1) y así nos referiremos a ellas.

5.2 Descripción del análisis del libro LE1: valoración de los ítems y esquemas de interpretación

A continuación presentamos el análisis del libro LE1 en dos partes. En la primera parte transcribimos el índice y hacemos una descripción del relato que desarrolla el texto para abordar la tabla periódica teniendo en cuenta los temas previos, los temas posteriores, algunas citas literales, etc. En la segunda parte describimos la asignación de valores a cada uno de los ítems, presentamos los gráficos y planteamos las redes sistémicas obtenidas. Este análisis detallado del libro LE1 lo presentamos como ejemplo del procedimiento que seguimos y los criterios que tuvimos para hacer el análisis de todos los libros, pero la descripción detallada de los demás está en el anexo 3.

5.2.1 Índice y descripción del “relato” sobre la tabla periódica

El libro está dividido en 5 bloques, de la siguiente manera:

Bloque 1. *Las características de los materiales*

Bloque 2. *La diversidad de propiedades de los materiales y su clasificación química*

Bloque 3. *La transformación de los materiales: la reacción química*

Bloque 4. *La formación de nuevos materiales*

Bloque 5. *Química y tecnología*

La tabla periódica se presenta en el bloque 2 (*La diversidad de propiedades de los materiales y su clasificación química*), que está dividido en tres temas, de la siguiente manera:

Tema 1. *Mezclas, compuestos y elementos*

Tema 2. *La tabla periódica*

Tema 3. *Proyectos. Ahora tú explora, experimenta y actúa*

En la introducción del bloque que analizamos se presentan los objetivos. Sólo en uno de ellos se menciona la tabla periódica y se afirma que se espera que los lectores relacionen “...*las propiedades de los elementos con su posición en la tabla periódica*” y que valoren “... *su utilidad en la interpretación y diseño de nuevos materiales*” (2008, p. 97). También se espera que los lectores aprendan a clasificar los materiales (a partir de sus propiedades físicas y químicas) en mezclas, compuestos y elementos; que identifiquen el lenguaje y el método de la química y que relacionen los tipos de enlace con algunas propiedades de las sustancias.

Se presenta una lista de aspectos que se tratarán a través de todo el bloque, de los cuales resaltamos algunos del tema 2. Éstos son: “*Presentaciones de la tabla periódica*”; “*propiedades de elementos desconocidos a partir de datos conocidos*” y “*características generales de algunos elementos químicos de la tabla periódica*”.

Después de una introducción del primer tema se propone una actividad para descomponer yoduro de potasio por electrólisis; y posteriormente se explica la clasificación en compuestos químicos, que “...*pueden descomponerse en sustancias más simples...*”; y en elementos químicos, que “...*son sustancias que no pueden descomponerse en otras más simples...*” (2008, p. 100). Se describe una forma de representación icónica de átomos con bolas de colores determinados para representar los “*tipos de átomo*”, y de moléculas de elementos y de

compuestos, con las cuales se representan diversos tipos de materiales: elemento, compuesto o mezcla. Esta representación icónica se usa a través de todo el resto del texto.

Al introducir la “...*estructura de los materiales...*” (2008, p. 106) se justifica la necesidad de los modelos para explicar la realidad submicroscópica y se presentan los modelos atómicos: Dalton, Thomson, Bohr (Rutherford-Bohr), sin hablar todavía de niveles ni capas electrónicas. Se proponen actividades de interpretación de observaciones experimentales a partir de los modelos anteriores, para que los lectores decidan cuáles modelos explican cada una de las series de observaciones que se les describen.

A partir de evocar algunas experiencias de los lectores, se evidencia la naturaleza eléctrica de la materia y se explica ésta a partir de las cargas de los electrones y protones del modelo Rutherford-Bohr. Se explica el núcleo atómico, el número másico, el concepto de isótopo, etc. (no se menciona la masa atómica promedio). Se explica un modelo de capas electrónicas y, con él, una manera sencilla de distribución que diferencia entre la capa de electrones interna y la capa de electrones externa (o de valencia).

Se explica que los químicos generaron un sistema de clasificación a partir de la observación de las propiedades físicas y químicas de los elementos que hoy conocemos como tabla periódica, que es “... *una herramienta muy poderosa para realizar experimentos de manera sistemática y con objetivos bien definidos*” (2008, p. 115).

En un apartado de dos páginas, señalado con un color de papel diferente y titulado “*Así se construye la ciencia*”, se describe el contexto del trabajo de Mendeleiev en la “...*organización de los elementos.*” Se menciona a Döbereiner, a Newlands y a Meyer que, como Mendeleiev, generaron sistemas de clasificación. La tabla propuesta por Mendeleiev fue “... *la más útil y exitosa por su elegancia y su capacidad predictiva...* [y] *no sólo permitió clasificar los elementos químicos de manera sistemática, sino que también dio lugar a una de las leyes más importantes de la química.*” (2008, p. 116). Se describe la tabla original de Mendeleiev, se señalan los espacios vacíos que dejó con signos de interrogación y se explica la predicción del germanio.

Se hace una distinción entre metales, no metales y metaloides y se explican sus diferencias y semejanzas en el nivel macroscópico. A partir de ellas se introduce la idea de familias de elementos en las primeras tablas ordenadas con el criterio de masa atómica y se especifica

el cambio de criterio a número atómico, que “... *permitió resolver ciertas inconsistencias detectadas y descubrir la existencia de otras propiedades periódicas...*” (2008, p. 125).

Se explica la tabla periódica describiendo las casillas de los elementos que contienen la masa atómica y el número atómico. Se explica la periodicidad en general y se formula la ley periódica en términos de números atómicos. Después se vuelve sobre las predicciones de Mendeleiev y la utilidad de poder predecir fórmulas y propiedades, tanto en la selección de sustancias para sintetizar productos nuevos como en la fabricación de objetos.

El relato vuelve sobre la clasificación de los elementos en metales y no metales para hablar de sus usos, de su abundancia y de las características concretas de cada familia, incluyendo la estructura interna.

Finalmente, se relacionan las regularidades macroscópicas con las regularidades atómicas a partir de los electrones de valencia y la posición en la tabla periódica de los primeros 20 elementos; se describe la variación del tamaño atómico y se explica con la atracción entre protones y electrones; se explican los tipos de enlace y la relación de éstos con los tipos de estructura.

5.2.2 Asignación de los ítems correspondientes en la plantilla de análisis

En esta sección presentamos cada una de las “preguntas” y los ítems que utilizamos para valorar con 4, 3, o 1, según la presencia explícita, la presencia implícita o la ausencia, correspondientemente. Valoramos cada ítem, justificamos esta valoración y planteamos los gráficos y las redes sistémicas que usamos para la interpretación. La interpretación de los gráficos que elaboramos con los ítems de cada pregunta la hacemos en la cuarta parte junto con la de los otros libros.

Primer enunciado: etiquetas que se usan para hacer referencia a los elementos químicos

De las siguientes etiquetas para denominar la entidad elemento químico ¿cuáles se utilizan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Etiquetas para "elemento químico"	
Sustancia simple (SS)	3
Sustancia básica (SB)	1
Clase, tipo o especie de núcleo (TN)	1
Clase, tipo o especie de átomo (TA)	3
Bloque fundamental de la materia (BF)	1
Sustancia elemental (SE)	3
Entidad abstracta (EA)	1
Elemento (EL)	4
Sustancia pura (SP)	1
Otra...	1

Tabla 17. Etiquetas para "elemento químico"

En la introducción del tema se afirma que hay unas sustancias más simples que otras y que “... es útil clasificarlas en dos grandes grupos: elementos y compuestos” (2008, p. 98). Más adelante, se señala que hay sustancias que no se pueden descomponer en “...sustancias más simples por medios físicos. Sin embargo, [los químicos] han sido capaces de descomponerlas en componentes más elementales a través de métodos químicos.” De la misma manera, en la actividad que mencionamos antes, con yoduro de potasio, se afirma que éste se descompone “... en sus componentes elementales.” (2008, p. 99).

Más adelante, se afirma que “... las partículas de distintos elementos están conformadas por diferentes tipos de átomos” y que “Una característica común de todos los elementos químicos es que las partículas que los constituyen están formadas por un solo tipo de átomos”. También se afirma que “... los elementos están constituidos por átomos del mismo tipo...” (2008, p. 101).

Con las valoraciones de la tabla elaboramos el gráfico bidimensional que nos permitirá relacionarlas e interpretarlas en conjunto. Tal como se muestra en las tramas, el verde intenso corresponde a la valoración de 4 (presencia explícita), el verde pálido a la valoración de 3 (presencia implícita) y el blanco a la valoración de 1 (ausencia). Las siglas de

cada etiqueta en el gráfico corresponden a las que están entre paréntesis en la tabla de arriba, en cada uno de los ítems.

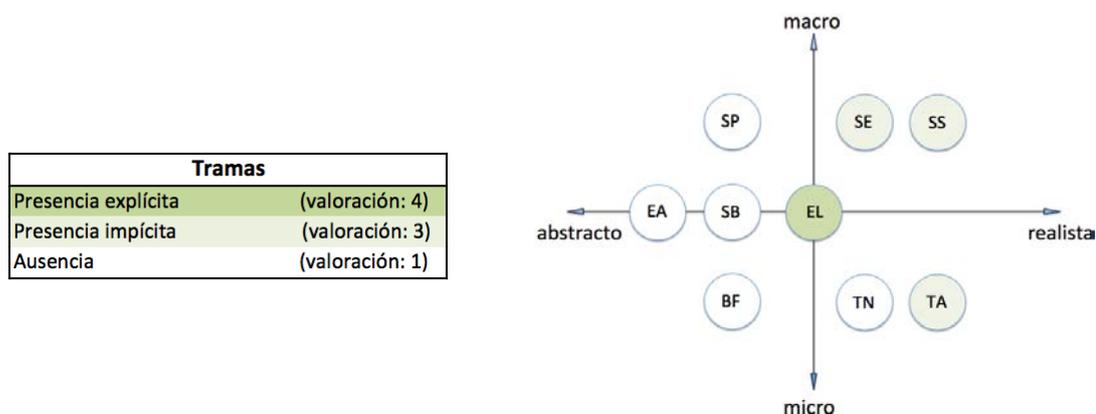


Figura 9. Gráfico bidimensional de interpretación (etiquetas)

Segundo enunciado: atributos de los elementos químicos

De los siguientes atributos de los elementos químicos ¿cuáles se utilizan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Atributos de los elementos químicos	
No se puede descomponer por medios químicos (NOD)	4
Sobrevive al cambio químico (SCQ)	1
Se caracteriza por el número atómico (NAT)	4
Se caracteriza por su lugar en la TP (LTP)	3
Se caracteriza por el número de protones (NPR)	4
Carece de propiedades macroscópicas (CPM)	1
Se caracteriza por la masa atómica (MAT)	4
Se caracteriza por la carga nuclear (CNU)	1
Otra...	1

Tabla 18. Atributos de los elementos químicos

Antes de empezar a explicar las representaciones icónicas y las fórmulas, se afirma que “El resultado de la descomposición de los compuestos químicos son sustancias que no pueden descomponerse en otras más simples” (2008, p. 100).

Unas páginas más adelante, se puede leer que “La identidad de cada tipo de átomo está determinada por el número de protones. A esta cantidad se le da el nombre de número atómico...” y que “Los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número de protones...” (2008, p. 109).

Cuando se está describiendo la tabla periódica, en la página 126, se afirma que ésta “...presenta el nombre, el símbolo, el número atómico y la masa de cada elemento.”

El gráfico para interpretar estos datos es el siguiente (Las siglas de cada etiqueta en el gráfico corresponden a las que están entre paréntesis en la tabla de arriba, en cada uno de los ítems).

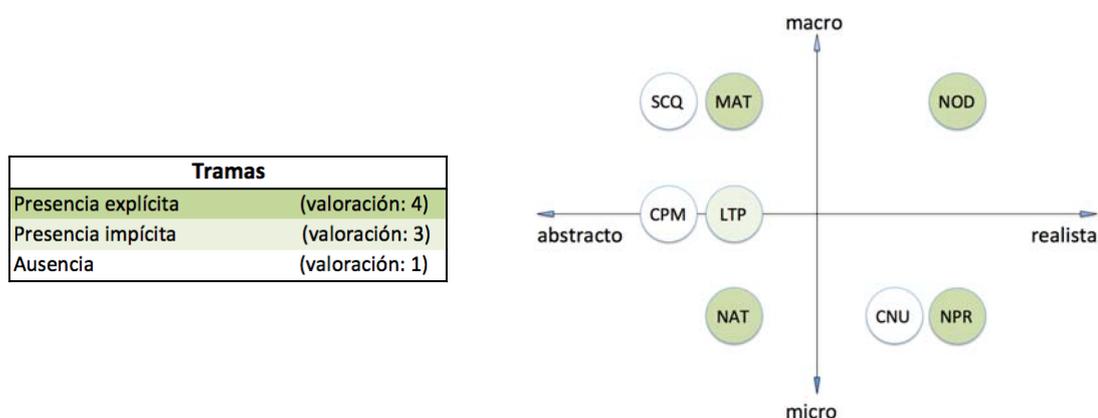


Figura 10. Gráfico bidimensional de interpretación (atributos)

Tercer enunciado: propiedades periódicas de los elementos químicos

De las siguientes propiedades de los elementos químicos ¿cuáles se utilizan en el texto como propiedades periódicas? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Propiedades periódicas de los elementos químicos	
Energía de ionización (EION)	1
Densidad (DENS)	4
Fórmulas compuestas que forma (FCQF)	4
Valencias (VALE)	4
Electrones de valencia (EVAL)	4
Números de oxidación (NOXI)	1
Tipo de orbital del electrón diferenciador (ODIF)	1
Capacidad de combinación química (COMB)	4
Radio atómico (RATM)	4
Carácter metálico (CMET)	4
Configuración electrónica de valencia (CFEV)	1
Afinidad electrónica (AFEL)	1
Radio iónico (RION)	1
Reactividad (REAC)	4
Electronegatividad (ELNG)	1
Puntos de ebullición y de fusión (PEYF)	4
Estructura de la sustancia simple (ESSS)	3
Otra...	1

Tabla 19. Propiedades periódicas de los elementos químicos

Cuando se empieza a describir la tabla periódica con detalle, en las páginas de la 126 a la 128, se explica la idea de periodicidad y se presentan, como propiedades periódicas, los puntos de fusión y de ebullición, la densidad, el carácter metálico, las fórmulas de los compuestos y la valencia (definida como una medida de la capacidad de combinación química). Es importante señalar aquí que cuando consideramos que una propiedad determinada se presenta como propiedad periódica en el texto, es porque se muestra, al menos, como una característica que cambia de una zona a otra de la tabla periódica, y/o que dicha propiedad sirve para relacionar y caracterizar grupos de elementos (no sólo en el caso de las columnas de la tabla periódica).

Posteriormente, cuando se caracterizan algunos grupos a partir de las principales propiedades de uno de sus representantes, también se habla de la reactividad química (p. 130-134).

A partir de la página 136, en la que se empieza a relacionar la estructura electrónica de los átomos con las propiedades periódicas, se consideran también el número de electrones de valencia y el tamaño atómico. Y a partir de la página 138, cuando se tratan los tipos de enlace, se relacionan éstos con las estructuras internas de las sustancias (esta relación es implícita y por ello la calificamos con un 3). El gráfico para interpretar estos datos es el siguiente:

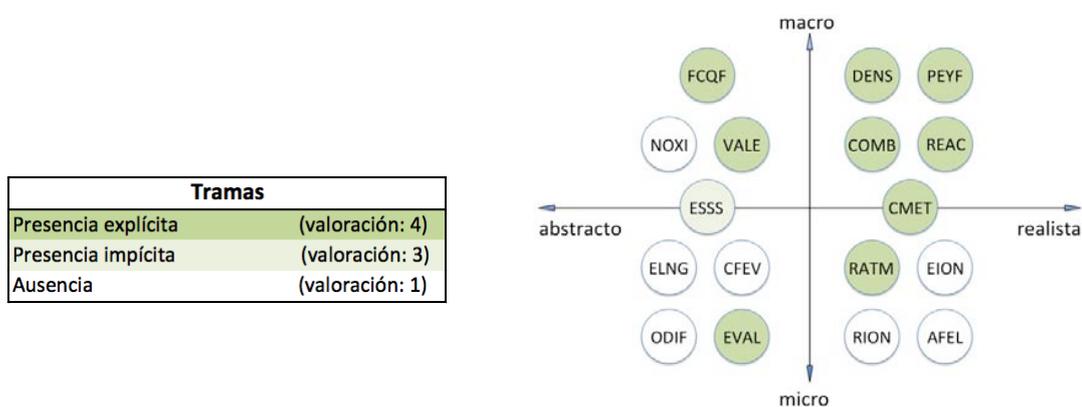


Figura 11. Gráfico bidimensional de interpretación (propiedades)

Cuarto enunciado: secuencia para introducir la tabla periódica

Según la secuencia que sigue el texto para introducir la tabla periódica ¿en qué orden se presentan los siguientes ítems?

Ítems de la secuencia	Orden
Modelo de Dalton	1
Modelo de Rutherford	2
Modelo de Bohr	3
Átomo mecánica cuántica	0
Propiedades p de átomos	11
Propiedades p sustancias	7
Prop. sustancia/est. Interna	13
TP de números atómicos	8
TP de masas	6
Configuración electrónica	4
Configuración / sitio TP	10
Electrones de valencia	5
Electr. de val. / comp. químico	9
Expl. electrostática de prop.	12

Tabla 20. Secuencia para introducir la tabla periódica

A partir del índice y la descripción general, podemos seguir la secuencia en términos de los ítems que hemos propuesto en la plantilla de análisis. A continuación mostramos el gráfico de la secuencia, que está elaborado con los mismos criterios que los correspondientes a las encuestas de los profesores y que también usamos en el capítulo 6: el color representa el “contenido” del ítem (cuya equivalencia está en la columna de la izquierda) y el número corresponde a la posición ordinal que ocupa en la secuencia del texto.

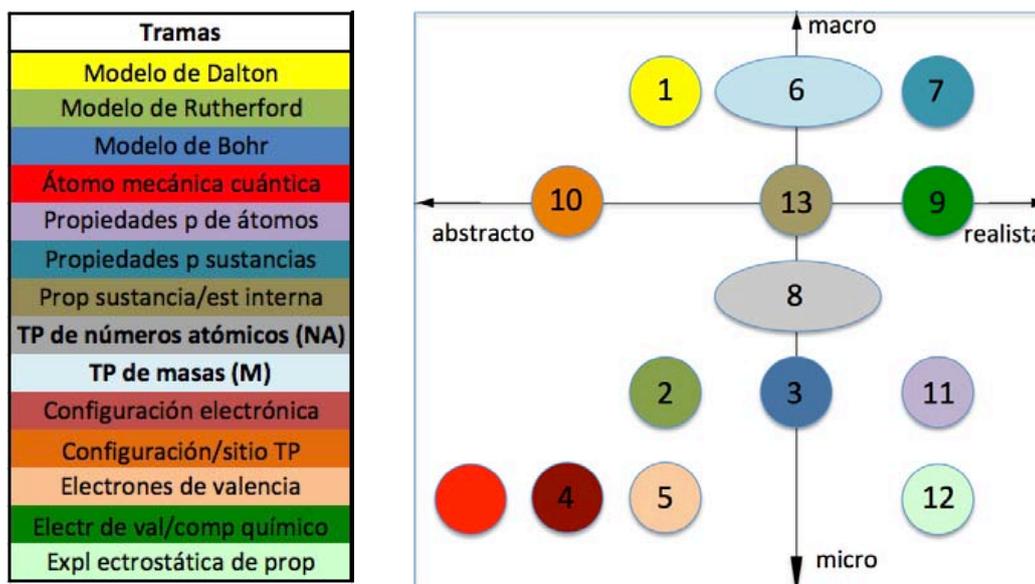


Figura 12. Gráfico de secuencia para libros de texto

Quinto enunciado: aspectos sobre los formatos de la tabla periódica

De los siguientes aspectos de la tabla periódica ¿cuáles se tratan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Aspectos de la tabla periódica	
Diversos formatos i variaciones de la TP actual	3
La TP que usa presentada como la más exacta	1
La TP que usa presentada como la más útil	1
Diversas relaciones entre elementos (diagonales, en L, etc.)	1
Representaciones tridimensionales de la LP	1
División de la TP en los bloques s, p, d f	1
La TP que usa presentada como la que muestra más relaciones	1
Triadas de los elementos con los números atómicos	1
La TP que usa presentada como la única actual	1
Otra... (la más habitual)	1

Tabla 21. Aspectos de la tabla periódica en los libros de texto

Aunque sólo se muestra un formato de la tabla periódica, como en la mayoría de los libros, y no se afirma explícitamente que puede haber otros diferentes, sí hay algunos aspectos que plantean matices en relación con los relatos de otros textos: En la página 126, en un

párrafo después de explicar el concepto de periodicidad, se afirma que “*Estas columnas se enumeran del 1 al 18, aunque hay tablas que utilizan numeración romana...*” y se usa el plural “tablas” para referirse a otras características. En la página 136, para presentar la relación entre el número de electrones de valencia y la posición de los primeros 20 elementos en la tabla periódica, se presenta una tabla reducida, mostrando la periodicidad atómica de éstos.

Para interpretar los datos, hemos elaborado la siguiente red sistémica, que explicamos a continuación:

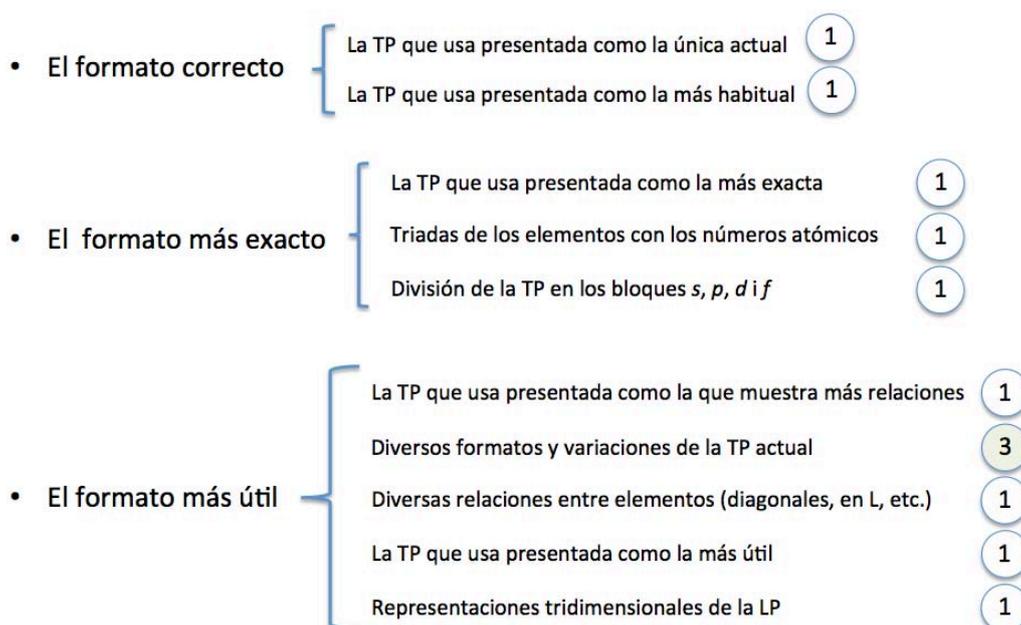


Figura 13. Red sistémica para la interpretación de los aspectos de la tabla periódica

La primera categoría está integrada por dos de los ítems: “La TP que usa presentada como la única actual” y “La TP que usa presentada como la más habitual”. Una valoración de “presencia” (o “conveniencia” en el caso las encuestas) en éstos ítems y una valoración de “ausencia” (o “no conveniencia en el caso de las encuestas) en ítems que sugieren otras maneras de considerarla, como los que hay en las otras categorías, la interpretamos como un indicador de que el libro presenta a sus lectores (o los profesores a sus alumnos) un único formato, generalmente el tradicional, como representación de la ley periódica.

La segunda categoría consta de tres ítems: “La TP que usa en clase presentada como la más exacta”, “Triadas de los elementos con los número atómicos” y “División de la TP en los bloques *s, p, d, f*”. Una valoración de “presencia” en los ítems de esta categoría la podemos

interpretar como indicador de que el relato del libro comunica la idea de que el formato que usa debe ser el que presenta las relaciones entre los elementos y la periodicidad de manera más exacta.

La tercera categoría está compuesta por los ítems restantes. Una valoración de “presencia” en éstos la interpretamos como indicador de que el libro sugiere visiones más flexibles que las anteriores, en el sentido de considerar la TP como un esquema que se puede usar de maneras diversas, incluso con modificaciones, pero buscando siempre que sea útil en un contexto determinado o con un objetivo determinado. Estas visiones serían más cercanas a las ideas de Rich, Laing y Schwarz y Jensen (Rich 2005; Laing 2009c; Schwarz y Rich 2010; Jensen 2008b) sobre la flexibilidad del formato en las clases, que a las ideas de Clark, White y Lavelle (Clark y White 2008; Lavelle 2009) que consideran que llevar este debate a las clases puede confundir a los estudiantes.

Sexto enunciado: estatus de la ley periódica

De los siguientes atributos de la ley periódica ¿cuáles se tratan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Atributos de la ley periódica	
Es una ley científica como cualquiera otra	1
Es una ley característica de la química, diferente de las físicas	1
Es una ley empírica	3
Es una ley que ha sido explicada por la mecánica cuántica	1
Es una ley aproximada	1
Es una ley exacta, pero con excepciones	1
Es una ley explicativa	1
Es una ley de clasificación	4
Es una ley (otra)...	1

Tabla 22. Atributos de la ley periódica en los libros de texto

En el relato detallado que se hace en las páginas 116 y 117 sobre “... la organización de los elementos” se puede interpretar una visión empírica de la ley, aunque de manera implícita, porque se insiste en la idea de que Meendeleiev “... se sirvió de los resultados experimentales e ideas de muchos científicos de su época...” y se narra el famoso episodio de las tarjetas, a lo que

dedicó muchas horas tratando de “... *identificar patrones similares en el comportamiento y propiedades químicas...*”. El texto sí es explícito en que se trata de una clasificación, por ejemplo cuando afirma que Mendeleiev “... *estaba tan seguro de su sistema de clasificación que creía que debían existir elementos aún no descubiertos que ocuparían esos espacios*”.

Para interpretar estos datos elaboramos la siguiente red sistémica, reuniendo los ítems en dos grupos: uno de ellos corresponde a una visión de la ley periódica comparable con las leyes de la física, a un enfoque normativo, y el otro grupo corresponde a una visión independiente, a una visión de la ley periódica como una ley propia de la química. Con las valoraciones del ejemplo obtenemos:

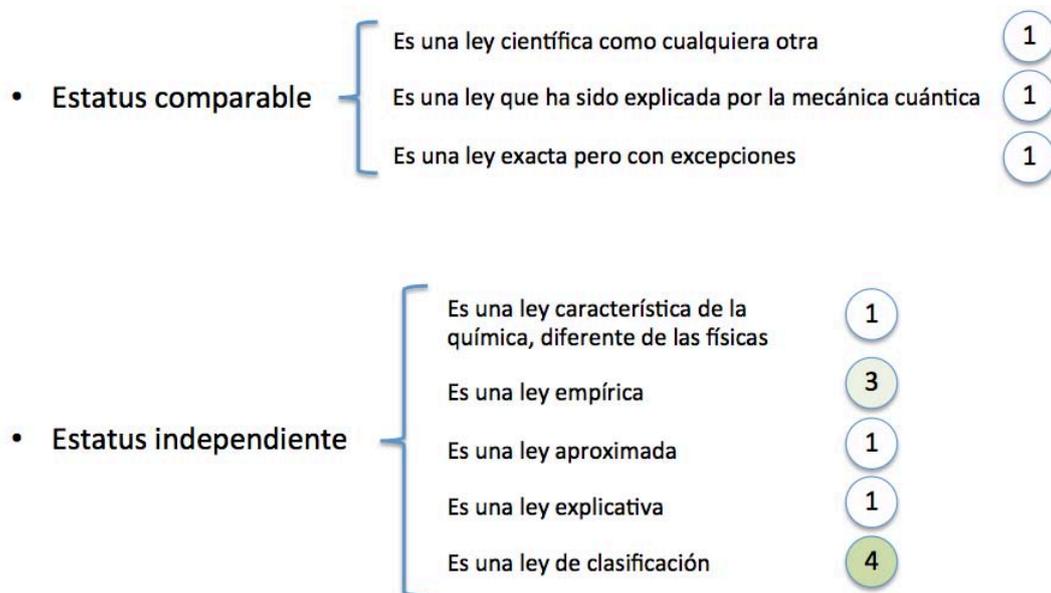


Figura 14. Red sistémica para la interpretación de los atributos de la ley periódica

Séptimo enunciado: predicciones, acomodaciones y correcciones

De las siguientes acciones que pudieron haber sido importantes para la aceptación de la ley periódica por parte de la comunidad científica ¿cuáles se tratan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Acciones importantes para la aceptación de la ley periódica	
Predicciones exitosas de elementos desconocidos y sus propiedades	4
Dar indicios de la existencia de una estructura interna de los materiales	1
Corrección y ajuste de datos de elementos ya conocidos	1

Dar coherencia al conocimiento químico como sistema	3
Sustentar una concepción de elemento químico abstracto e individual	1
Dar indicios de explicaciones teóricas de los hechos químicos	1
Dar indicios de la existencia física del átomo	1
Sustentar el comportamiento atómico de la materia	1
Otra...	1

Tabla 23. Acciones para la aceptación de la ley periódica

Las predicciones se mencionan varias veces en el texto, por lo tanto calificamos con 4 el ítem correspondiente. Por otra parte, cuando se presenta la tabla periódica por primera vez, en la página 115, se afirma que “... los químicos tuvieron por primera vez en sus manos una herramienta muy poderosa para realizar experimentos de manera sistemática y con objetivos bien definidos.” Esta afirmación nos da razones para calificar con un 3 el ítem “Dar coherencia al conocimiento químico como sistema”.

Para elaborar la red sistémica hemos dividido los ítems en dos grupos, teniendo en cuenta que hay tres de ellos que estarían relacionados con un relato en el cual se considera más importante enseñar la tabla periódica como la conclusión de una serie de “intentos” anteriores, como suele aparecer en algunos libros de texto; en cambio, el otro grupo de “acciones” puede indicar una visión más explicativa de la tabla periódica, con un relato que la considera una herramienta didáctica más que un objetivo en sí mismo. En este ejemplo el relato es explícito en cuanto a la importancia de las predicciones que acabaron siendo exitosas, pero no menciona, por ejemplo, el hecho de que la tabla periódica pudo haber dado indicios de la existencia de una estructura interna de los materiales. Ahora bien, como ya lo hemos mencionado, hay una idea implícita que valoramos con un 3: que la tabla periódica fue importante para dar coherencia al conocimiento químico como sistema. En este caso el relato del libro favorece más la importancia de la ley periódica como un resultado que como una explicación, pero se tienen en cuenta los dos aspectos. La red queda construida de la siguiente manera:

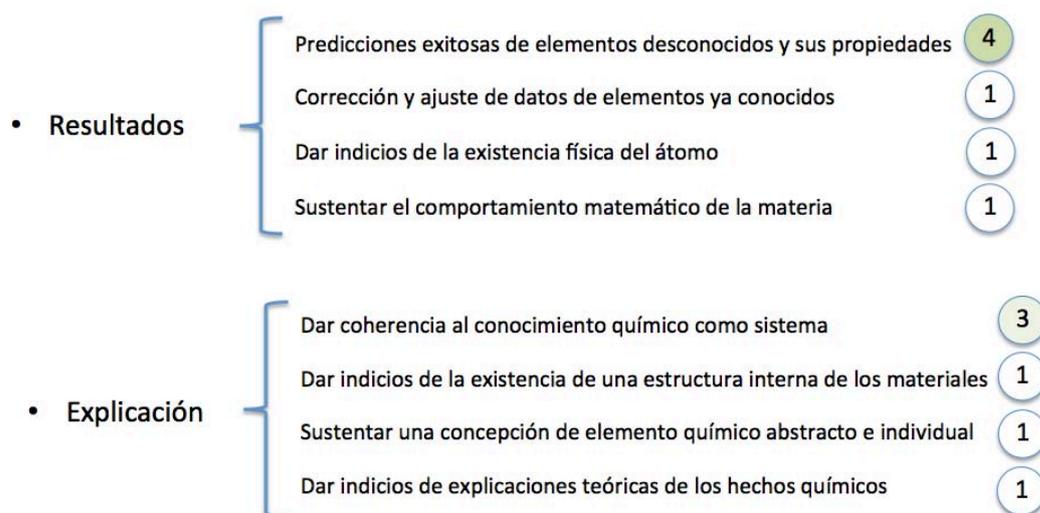


Figura 15. Red sistémica de las acciones para la aceptación de la ley periódica

Octavo enunciado: razones para enseñar la tabla periódica

De las siguientes posibles razones por las cuales es importante enseñar la tabla periódica ¿cuáles se mencionan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Razones para enseñar la tabla periódica	
Muestra las semejanzas entre los elementos químicos	4
Sintetiza gran parte del conocimiento químico	3
Es una de las ideas más brillantes de nuestra cultura científica	1
Ayuda a explicar el comportamiento de los átomos	1
Ayuda a explicar la interacción química entre las sustancias	1
Ayuda a recordar propiedades de los elementos químicos	1
Clasifica los bloques fundamentales de la materia	1
Ayuda a relacionar el nivel macroscópico con el nivel simbólico	3
Permite predecir posibles elementos desconocidos hasta ahora	1
Ayuda a explicar el comportamiento de las sustancias	1
Evidencia el carácter eléctrico de los fenómenos químicos	3
Sirve como herramienta para desarrollar competencias en clase	3
Es una representación visual de todos los elementos	1
Sugiere la existencia de estructuras internas de las sustancias	1
Permite ordenar y condensar mucha información en poco espacio	4
Acompaña a conceptualizar la experiencia química	3

Permite predecir fórmulas químicas	4
Ayuda a “fabricar” nuevos elementos	1
Otra...	1

Tabla 24. Razones para enseñar la tabla periódica en los libros de texto

Se dan a conocer varias razones de manera explícita y otras de manera implícita. El hecho de mostrar las semejanzas entre los elementos es recurrente, pero también se afirma que la tabla periódica permitió “... condensar una gran cantidad de información sobre los elementos químicos en un espacio reducido...”; y que también que “... reveló la existencia de regularidades en las propiedades químicas de los elementos cuando se organizan en función de su masa atómica.” (2008, p. 117).

Otra afirmación que se puede leer es que la clasificación periódica “... no sólo permitió clasificar a los elementos químicos de manera sistemática, sino que también dio lugar a una de las leyes más importantes de la química, la denominada Ley periódica” (2008, p. 116).

Para elaborar la red sistémica, en primer lugar clasificamos las razones en dos grandes categorías: las que están más relacionadas con una visión de la tabla periódica como una herramienta didáctica y las razones que están más relacionadas con una visión de la tabla periódica como un objetivo de enseñanza en sí mismo.

Estas categorías, a su vez, las clasificamos en subcategorías. Entre las razones que pueden comunicar una visión de la tabla periódica como “herramienta” hay objetivos diversos, a saber: puede ser una herramienta didáctica que ayuda a recordar las propiedades de los elementos, e incluso los nombres y los símbolos; o que ayuda a explicar los fenómenos, ya sea desde la abstracción de las estructuras internas o desde el realismo de la interacción física entre electrones y protones; o también, que ayuda a predecir fórmulas o la existencia de elementos desconocidos. El esquema para este ejemplo es el siguiente:

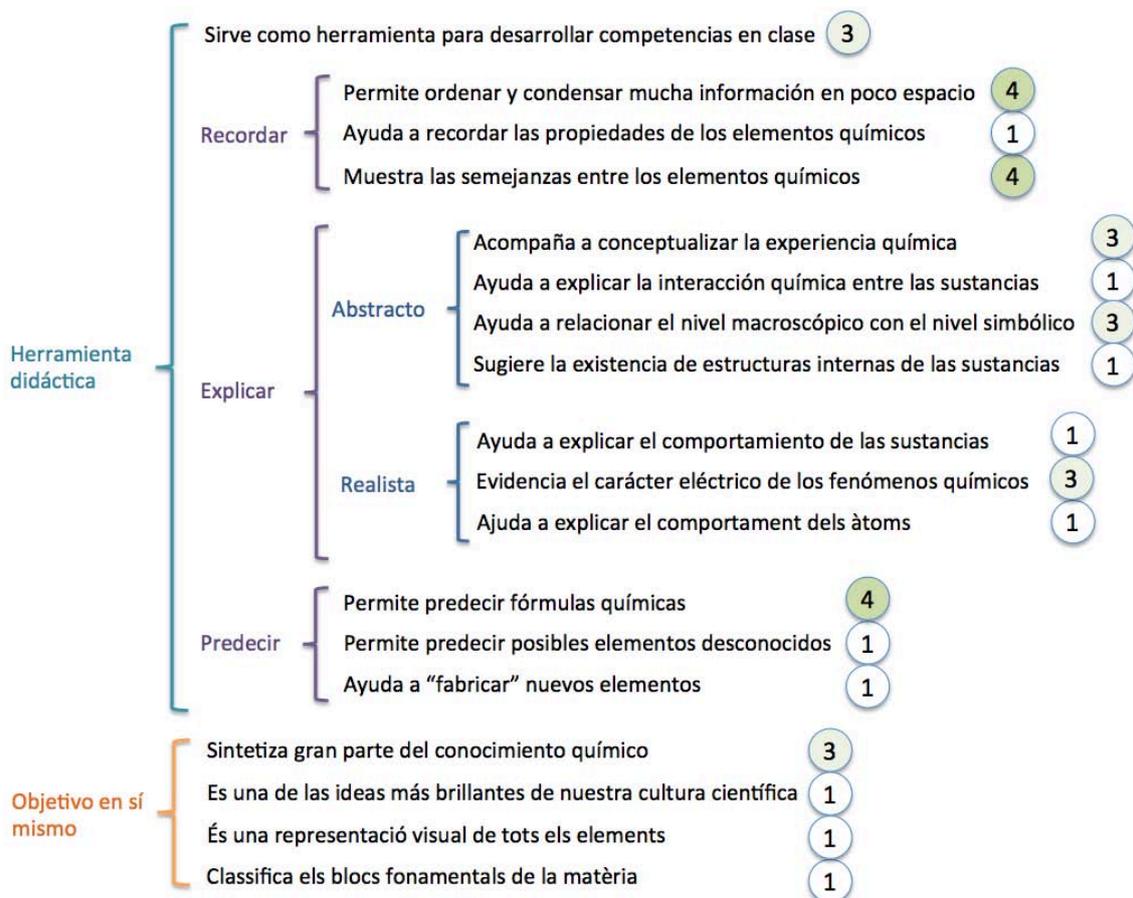


Figura 16. Red sistémica para representar las razones para enseñar la tabla periódica

5.3 Análisis global para cada apartado de la plantilla de análisis

A continuación presentamos, para cada “pregunta”, la tabla de frecuencias que construimos con los datos obtenidos, el gráfico mediante el cual los interpretamos y la interpretación correspondiente. Las tablas de datos con las valoraciones de todos los ítems para cada libro están en el anexo 2.

Las tablas y las redes sistémicas muestran las frecuencias de las valoraciones en ESO y en bachillerato por separado, pero una al costado de la otra, para facilitar las comparaciones; y en el caso de los gráficos de las tres primeras “preguntas”, también para facilitar las comparaciones, los presentamos superpuestos. Además, para facilitar la lectura utilizamos las siguientes tramas: con el color rojo señalamos las “tendencias de ausencia” cuando hay una mayoría de valoraciones de 1 en un ítem determinado, con el color verde señalamos las “tendencias de presencia” cuando hay una mayoría de valoraciones de 3 y/o 4 en un ítem determinado, y con el color naranja señalamos los ítems en los cuales la tendencia es neutra porque las valoraciones están más divididas. El color verde intenso lo utilizamos para

señalar algún valor concreto que consideramos interesante para destacar y compararlo con la tendencia que se presente en el ítem correspondiente.

5.3.1 Primer enunciado: etiquetas que se usan para referirse a los elementos químicos

De las siguientes etiquetas para denominar la entidad elemento químico ¿cuáles se utilizan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Etiquetas para "elemento químico"	ESO			Bach		
	1	3	4	1	3	4
Sustancia simple (SS)	5	1	0	10	0	2
Sustancia básica (SB)	6	0	0	12	0	0
Clase, tipo o especie de núcleo (TN)	6	0	0	12	0	0
Clase, tipo o especie de átomo (TA)	4	1	1	1	6	5
Bloque fundamental de la materia (BF)	6	0	0	11	0	1
Sustancia elemental (SE)	4	1	1	7	4	1
Entidad abstracta (EA)	6	0	0	12	0	0
Elemento (EL)	0	0	6	0	0	12
Sustancia pura (SP)	6	0	0	12	0	0
Otra...	6	0	0	12	0	0

Tabla 25. Tabla de frecuencias del uso de etiquetas para referirse a "elemento químico"

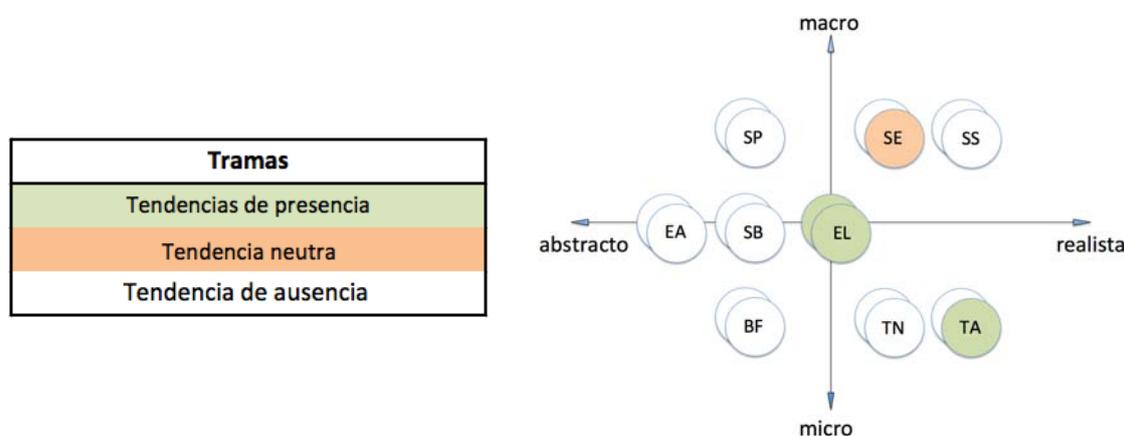


Figura 17. Gráfico de frecuencias del uso de etiquetas para referirse a "elemento químico"

Este enunciado nos da poca información para la interpretación de los datos de la muestra en general, porque cuando se introduce la tabla periódica en los libros de texto, generalmente, ya se han definido en capítulos anteriores conceptos como *sustancia pura*, *mezcla*, *sustancia compuesta* y *simple o elemental*, etc. En cualquier caso, las tendencias observadas en el diagrama nos dan indicios de una idea que contrastaremos después en los análisis individuales: Si hay poca diversidad de etiquetas para referirse a los elementos, esto acentúa

el carácter polisémico del término, porque significa que en los relatos de los libros se usa esta etiqueta para referirse tanto a una sustancia con propiedades macroscópicas, como a la idea abstracta de elemento representado por la casilla de la tabla periódica, por ejemplo.

La etiqueta *tipo de átomo* no se usa mayoritariamente en los libros de ESO, pero sí en los de bachillerato. Éste es un indicio de que en bachillerato hay una mayor tendencia a utilizar la concepción atómica del concepto de elemento químico. Por su parte, la etiqueta *sustancia elemental* aparece poco de manera explícita (en un libro de ESO y en uno de bachillerato), pero consideramos que está implícita en algunos textos que son más cuidadosos de no usar siempre la palabra “elemento” para referirse a todos los niveles del concepto, sino que usan términos como “átomos de los elementos” para diferenciar éstos, por ejemplo, de las sustancias que tienen propiedades macroscópicas.

En cualquier caso, este apartado nos da información más valiosa en el análisis individual para cada libro, porque en dicho análisis sabremos en cuáles de ellos se usan diversas etiquetas además de *elemento* y cuáles etiquetas la acompañan cuando no es la única que se usa en el capítulo de la tabla periódica.

5.3.2 Segundo enunciado: atributos de los elementos químicos

De los siguientes atributos de los elementos químicos ¿cuáles se utilizan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Atributos de los elementos químicos	ESO			Bach		
	1	3	4	1	3	4
No se puede descomponer por medios químicos (NOD)	5	0	1	12	0	0
Sobrevive sobrevive al cambio químico (SCQ)	6	0	0	12	0	0
Se caracteriza por el número atómico (NAT)	0	0	6	0	0	12
Se caracteriza por su lugar en la TP (LTP)	0	2	4	3	6	3
Se caracteriza por el número de protones (NPR)	1	0	5	0	0	12
Carece de propiedades macroscópicas (CPM)	6	0	0	12	0	0
Se caracteriza por la masa atómica (MAT)	1	1	4	9	2	1
Se caracteriza por la carga nuclear (CNU)	6	0	0	10	1	1
Otra...	6	0	0	12	0	0

Tabla 26. Tabla de frecuencias de uso de atributos de los elementos químicos

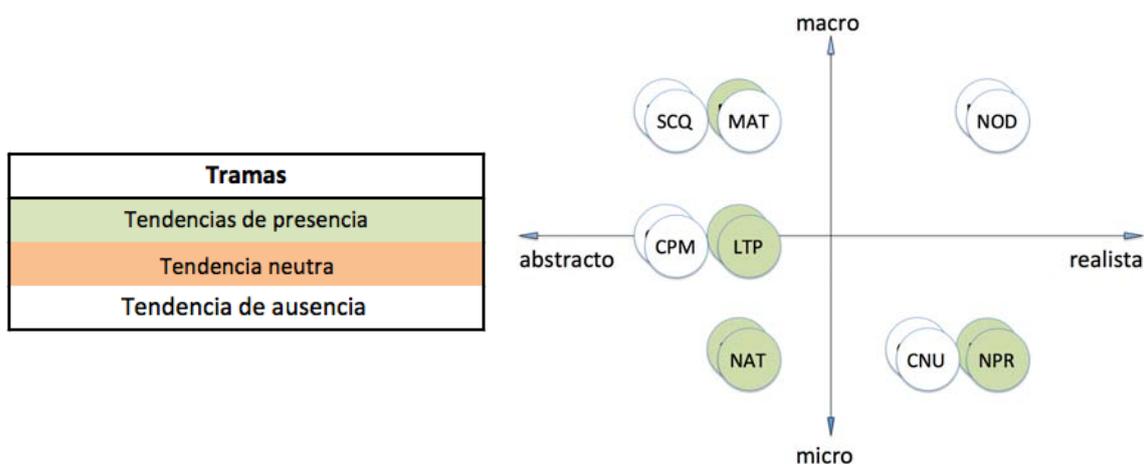


Figura 18. Gráfico de frecuencia de uso de atributos de los elementos químicos

En la tabla hemos resaltado con verde intenso tres casillas. La primera muestra que la etiqueta *no se puede descomponer por medios químicos* sólo aparece de manera explícita en uno de los textos y se trata de un libro de ESO. La segunda y la tercer corresponden a los ítems *se caracteriza por la masa atómica* y *se caracteriza por la carga nuclear* que sólo aparecen cada una en un libro de bachillerato. CNU no aparece en ningún libro de ESO, mientras que MAT es más frecuente en éstos que en los de bachillerato. En el análisis individual veremos si estas particularidades influyen en el perfil de los libros en cuestión. Por el momento, podemos decir que la presencia explícita de CNU y de MAT en bachillerato no corresponden al mismo libro (ver anexo 2).

Encontramos tres atributos que se usan frecuentemente, *número atómico*, *lugar en la tabla periódica* y *número de protones* tanto en bachillerato como en ESO. El número atómico es la caracterización por excelencia en los relatos de los libros, pero como se puede ver en las frecuencias de la tabla, esto se corresponde con una tendencia a la presencia explícita del número de protones (NPR) y más que a la caracterización menos frecuente por medio del lugar que ocupa un elemento en la tabla periódica (LTP), que está relacionado con el número atómico visto como un valor ordinal, lo cual le daría un carácter más abstracto a la concepción de elemento.

Sólo hay una tendencia que cambia de ESO a bachillerato: el uso de la masa atómica como atributo característico (MAT). En el tratamiento de la tabla periódica en los libros de bachillerato se suele dejar de lado la masa como atributo característico, para hacer énfasis en la diferenciación de los dos criterios de ordenación de los elementos: la masa como el criterio erróneo (aunque comprensible a finales del siglo XIX, según algunos relatos) y el

número atómico como el criterio correcto después del trabajo de Moseley. Algunos libros después de tratar el cálculo de la masa atómica ponderada mantienen esta característica como atributo importante, pero de manera más implícita que explícita, porque caracteriza el elemento en general cuando se asume la abundancia isotópica como universal.

5.3.3 Tercer enunciado: propiedades periódicas de los elementos químicos

De las siguientes propiedades de los elementos químicos ¿cuáles se utilizan en el texto como propiedades periódicas? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Propiedades periódicas de los elementos químicos	ESO			Bach		
	1	3	4	1	3	4
Energía de ionización (EION)	6	0	0	3	0	9
Densidad (DENS)	4	0	2	9	0	3
Fórmulas de los compuestos que forma (FCQF)	4	0	2	6	0	6
Valencias (VALE)	2	1	3	4	0	8
Electrones de valencia (EVAL)	2	0	4	3	1	8
Números de oxidación (NOXI)	6	0	0	9	0	3
Tipo de orbital del electrón diferenciador (ODIF)	5	0	1	3	0	9
Capacidad de combinación química (COMB)	4	0	2	6	1	5
Radio atómico (RATM)	1	0	5	4	0	8
Carácter metálico (CMET)	0	0	6	1	2	9
Configuración electrónica de valencia (CFEV)	3	2	1	2	0	10
Afinidad electrónica (AFEL)	6	0	0	5	0	7
Radio iónico (RION)	5	0	1	6	0	6
Reactividad (REAC)	2	1	3	6	0	6
Electronegatividad (ELNG)	6	0	0	4	1	7
Puntos de ebullición y de fusión (PEYF)	4	0	2	7	0	5
Estructura de la sustancia simple (ESSS)	0	5	1	7	3	2
Otra...	6	0	0	12	0	0

Tabla 27. Tabla de frecuencias del uso de propiedades como propiedades periódicas

Antes de referirnos a las tendencias genéricas a partir del gráfico interpretativo, queremos señalar dos ideas. La primera es que en este apartado, a diferencia de los anteriores, se nota más la diferencia de enfoque en los libros de texto y hay más diversidad, aunque encontramos algunas tendencias interesantes que mencionaremos a continuación. La segunda idea es que hay dos propiedades (densidad y números de oxidación) en las que tres libros de bachillerato difieren de la tendencia, que es de “ausencia” en los dos niveles

escolares; y otra propiedad (tipo de orbital del electrón diferenciador) en la que un libro de ESO difiere de la tendencia. Se puede ver en la tabla que esta última propiedad tiende a aparecer frecuentemente en bachillerato mas no en ESO, lo cual corresponde a un mayor uso del modelo atómico de la mecánica cuántica en bachillerato que en ESO. En el análisis individual veremos cómo influyen estas diferencias en los perfiles de cada libro.

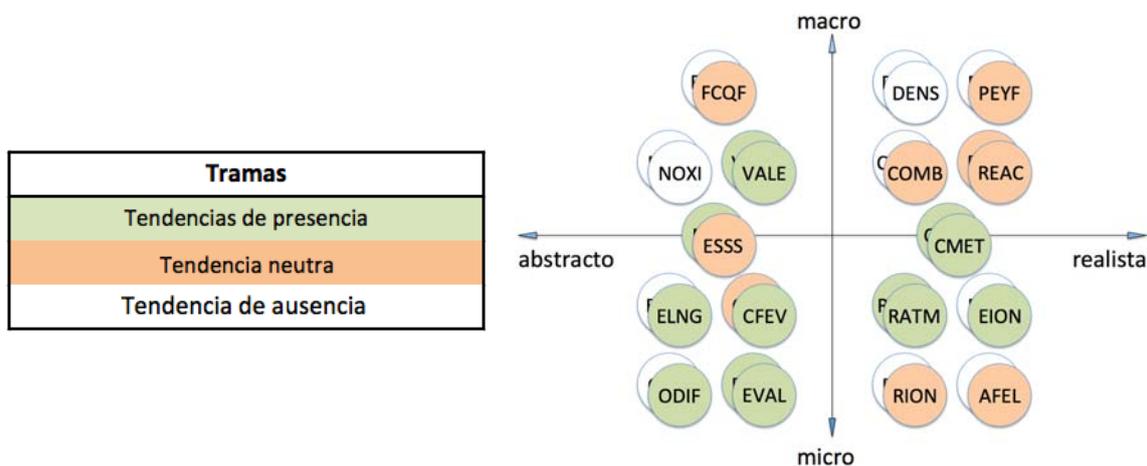


Figura 19. Gráfico de frecuencia del uso de propiedades como propiedades periódicas

En el gráfico se puede ver que hay cuatro tendencias de “presencia” que se mantienen en ESO y en bachillerato: la valencia (VALE), el carácter metálico (CMET), el radio atómico (RATM) y los electrones de valencia (EVAL); y, por otra parte, hay dos tendencias de “ausencia” que se mantienen también en los dos niveles escolares: los números de oxidación (NOXI) y la densidad (DENS), pero que, como vimos antes, muestran algunos casos particulares contrarios a esta tendencia.

En cuanto a las tendencias que cambian al pasar de la ESO al bachillerato, encontramos de dos tipos: las que pasan de “ausencia” a “presencia” y las que cambian en sentido contrario. Sólo una de las que cambia lo hace para estar más ausente, que es ESSS; pero las demás cambian en sentido contrario. La mayoría de éstas están en el lado microscópico, tanto en el cuadrante realista como en el cuadrante abstracto, lo cual nos sugiere un cambio general de la concepción de elemento como sustancia a una visión más atómica al pasar de ESO a bachillerato. Esta es una interpretación superficial esperada, pero nos servirá de referencia para los casos individuales.

Finalmente, es interesante notar que no existe una presencia mayoritaria, ni en ESO ni en bachillerato, de propiedades como *capacidad de combinación química* y *reactividad* que son las

que están más relacionadas con la interacción química en el nivel macro, lo cual interpretamos como una falta de conexión entre la tabla periódica y los fenómenos químicos perceptibles, a favor, como se ve en la presencia de otro tipo de etiquetas, de los fenómenos físicos y/o puramente atómicos.

5.3.4 Cuarto enunciado: secuencia para introducir la tabla periódica

Según la secuencia que sigue el texto para introducir la tabla periódica ¿en qué orden se presentan los siguiente ítems?

Tramas	LE1	LE2	LE3	LE4	LE5	LE6	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB8	LB9	LB10	LB11	LB12
Modelo de Dalton																		
Modelo de Rutherford				M														
Modelo de Bohr					M		M	M			M	NA		NA	M			
Átomo mecánica cuántica					NA						NA	M						
Propiedades p de átomos			NA				NA	NA							NA	NA		M
Propiedades p sustancias	M								M	NA			M				M	NA
Prop sustancia/est interna		NA		NA		M			NA	M			NA				NA	
TP de números atómicos (NA)	NA					NA								M				
TP de masas (M)																		
Configuración electrónica																		
Configuración/sitio TP																		
Electrones de valencia																		
Electr de val/comp químico																		
Expl electrostática de prop																		

Figura 20. Gráfico sobre las secuencias para introducir la tabla periódica

El esquema muestra una primera columna con el código de colores, que hemos usado para las secuencias, y las siguientes 18 columnas que corresponden, cada una, a la secuencia de un libro de texto. Como se puede ver en el encabezado, las primeras 6 columnas corresponden a los libros de ESO (LE1 a LE6) y las tras 12 columnas corresponden a los libros de bachillerato (LB1 a LB12). Para facilitar la lectura, hemos señalado los ítems “TP de números atómicos” y “TP de masas” con las letras NA y M, correspondientemente en cada secuencia, porque son los ítems en los cuales hacemos énfasis para llevar a cabo la interpretación. Al referirnos a los otros ítems también utilizamos abreviaciones pero no las colocamos en el diagrama para que no quede saturado y sea más cómodo seguirlo.

Cada una de las secuencias nos servirá para vertebrar los otros aspectos en el análisis individual y en la construcción de los perfiles de cada libro; pero antes de analizarlas por separado, vale la pena señalar algunas ideas interesantes que se revelan de una mirada conjunta y comparativa.

Lo primero que salta a la vista es que la mayoría de secuencias presenta los modelos atómicos de Dalton (D) y de Rutherford (R) antes de presentar cualquiera de las dos tablas periódicas (M y NA). En todas las secuencias en las que aparece D (13 de 18), está colocado antes de las dos tablas periódicas, lo cual se corresponde con una secuencia cronológica de los acontecimientos históricos. Con R sucede algo similar, pero ya no corresponde a un orden cronológico cuando este modelo se presenta antes de la tabla de masas (M). La secuencia cronológica de los acontecimientos históricos, si no consideramos todavía el modelo de Bohr (B), sería: D-M-R-NA.

El modelo de Rutherford aparece en 17 de las 18 secuencias, y en 14 de ellas aparece M, de las cuales, sólo en 4 (LE4, LB1, LB2 y LB9) aparece ésta antes que R. Tres de estas cuatro secuencias presentan el ordenamiento M-R-NA, y sólo en una (LE4) hay otros ítems adicionales entre las dos tablas periódicas.

El modelo de Bohr aparece en 14 secuencias, de las cuales en 11 aparece M; y de estas 11 secuencias, 7 muestran B antes de la tabla M. Además, en un total de 6 secuencias (2 en libros de ESO y 4 en libros de bachillerato) encontramos los tres modelos (D, R, B) antes de la tabla periódica de masas.

Por otra parte, el modelo mecánico cuántico (MC) aparece en un total de 9 secuencias (1 en ESO y 8 en bachillerato), de las cuales en 7 está colocado antes de M, incluso en el libro de ESO (LE2). Todo esto nos muestra una tendencia generalizada a plantear los modelos atómicos antes de las tablas periódicas, en la mayoría de los casos sin corresponder a una ordenación cronológica. El más frecuentemente utilizado es R y esto, como veremos, es coherente con la costumbre mayoritaria de utilizar la tabla periódica como una clasificación de átomos según los electrones (con este criterio más o menos elaborado según el nivel que se le quiera dar al relato del libro).

Otra tendencia interesante tiene que ver con la relación ordinal entre las propiedades de las sustancias en el nivel macroscópico (PS) y las dos tablas periódicas. Una relación ordinal que atiende a la cronología de los hechos históricos (y a una secuenciación que va de lo macro a lo micro, e incluso de lo real a lo abstracto), presentaría PS antes de cualquiera de las tablas periódicas, pero sucede que de las 12 secuencias en las que aparece PS, 6 de éstas

la presentan después de las 2 tablas periódicas (o de una de ellas cuando es la única tratada), y sólo 4 secuencias (LE3, LE4, LB1, LB2) proponen las PS antes de las dos tablas periódicas, o de una si es la única, como en el caso de LE3. Encontramos dos casos (LE1 y LB8) en los que el ítem de PS está ubicado entre las dos tablas periódicas.

Esto último nos lleva a otra observación interesante: de las 15 secuencias en las que aparecen las dos tablas periódicas, en 9 aparecen una después de la otra de manera consecutiva; y, de estas 9, hay 3 (LB4, LB6 y LB8) en las que aparece NA antes que M, al contrario del orden cronológico. En el análisis particular veremos si esto influye en el perfil de cada libro.

Antes decíamos que hay 12 secuencias en las que aparecen las PS. De éstas, 6 son de ESO, es decir que aparecen en todas las de ESO, y en la mitad de las de bachillerato (6 de 12). Es interesante comparar este dato con el de las propiedades de los átomos (PA), que aparecen en un total de 15 secuencias; de las cuales 5 son de ESO (todas menos una) y 10 son de bachillerato (todas menos 2).

La configuración electrónica (así como la relación entre ésta y el sitio que ocupa un elemento en la tabla periódica) aparece en 4 secuencias de ESO y en 10 de bachillerato. Por otra parte, la relación entre comportamiento químico y configuración electrónica aparece en 4 secuencias de ESO (en las mismas anteriores, como se esperaba), pero sólo aparece en 5 de bachillerato (de las 10 que presentan los dos ítems mencionados anteriormente), lo cual nos indica que hay 5 libros de texto de bachillerato (LB3, LB7, LB8, LB11 y LB12) que presentan la tabla periódica relacionada con la configuración electrónica pero ésta no la relacionan con el comportamiento químico.

También es interesante observar que la relación entre las propiedades de las sustancias y la estructura interna se trata en 5 secuencias de las 6 de ESO (siempre al final de la secuencia) y en 6 de las 12 secuencias de bachillerato, casi siempre al final: en 4 de ellas es el último ítem (LB2, LB4, LB5 y LB7), en una es el penúltimo (LB1) y en una es el segundo de 12 ítems (LB9); incluso en este caso está antes de las tablas periódicas.

Por último, es interesante notar que 10 de las 18 secuencias estudiadas, presentan la explicación electrostática de la variación de propiedades (como la energía de ionización o el

radio atómico), 3 de las cuales están en libros de ESO (la mitad) y 7 en libros de bachillerato, una más que la mitad.

5.3.5 Quinto enunciado: aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

De los siguientes aspectos de la tabla periódica ¿cuáles se tratan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Aspectos de la tabla periódica	ESO			Bach		
	1	3	4	1	3	4
Diversos formatos i variaciones de la TP actual	5	1	0	8	3	1
La TP que usa presentada como la más exacta	6	0	0	12	0	0
La TP que usa presentada como la más útil	6	0	0	11	1	0
Diversas relaciones entre elementos (diagonales, en L, etc.)	6	0	0	9	3	0
Representaciones tridimensionales de la LP	6	0	0	10	1	1
División de la TP en los bloques s, p, d, f	3	3	0	2	1	9
La TP que usa presentada como la que muestra más relaciones	6	0	0	12	0	0
Triadas de los elementos con los números atómicos	6	0	0	11	1	0
La TP que usa presentada como la única actual	4	0	2	1	4	7
Otra... (La más habitual)	3	0	3	12	0	0

Tabla 28. Tabla de frecuencias sobre los aspectos de la tabla periódica tratados

La mayoría de los aspectos que proponemos en la plantilla de análisis no se comunican en los relatos de los textos analizados, ni de manera explícita ni de manera implícita. La división en bloques s, p, d, f es uno de los pocos que sí se comunica, y de manera explícita, en la mayoría de los libros de bachillerato como se puede ver en las tendencias; lo cual se corresponde con la idea que hemos venido señalando sobre el uso de la concepción atómica de los elementos y, en diversos casos, del átomo de la mecánica cuántica. Es interesante notar que sólo hay dos libros en bachillerato que no consideran la separación en bloques, lo cual nos dará información para construir su perfil particular en comparación con la tendencia generalizada.

Por otra parte, en los textos de bachillerato hay una mayor tendencia que en los de ESO a tratar, de manera explícita, la tabla periódica como “la única actual”. Es interesante notar que en los libros de ESO parece haber un poco más de flexibilidad con el hecho de usar expresiones como “la más habitual”, “la más usual”, mientras que en la mayoría de los libros de bachillerato se usan más las expresiones del tipo “la tabla periódica moderna” o

“la tabla periódica actual”, que comunican una idea más firme de unicidad. Pero sobre esto volveremos más adelante, por el momento vale la pena resaltar los recuadros que señalamos con verde intenso, que muestran casos diferentes a la tendencia y que ya analizaremos individualmente para ver hasta qué punto se pueden considerar maneras diferentes de presentar la tabla periódica y como puede influir en el perfil de cada libro.

También es interesante señalar que, como se puede ver de los datos, las relaciones entre elementos, alternativas a las que se establecen en una columna (las tradicionales “familias”), se mencionan pocos en los libros, y cuando se hace en los libros de la muestra, sólo en los de bachillerato, se hace de manera implícita. Como veremos en el análisis individual, sólo algunos casos dejan entrever que hay algunas relaciones diferentes de las tradicionales de grupos (columnas) y bloques de elementos (de transición, representativos, de transición interna, etc.).

Al señalar las tendencias que hemos encontrado, la red sistémica es la siguiente:

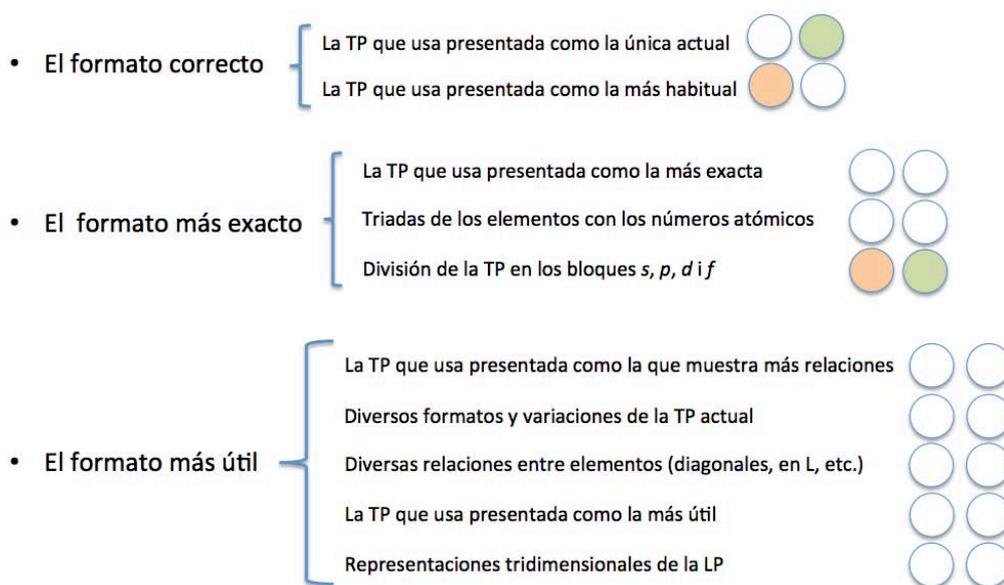


Figura 21. Red sistémica de los aspectos de la tabla periódica tratados

Se puede notar que está más presente en los textos la idea de que el formato que se usa en ellos es el correcto y/o el que es más exacto, y que no es habitual encontrar la idea de que puede haber otros formatos y que se elige uno determinado según el uso que hagamos de él. No se suele informar a los lectores de que esta cuestión (o la de la posición de algunos elementos) no está zanjada entre los científicos, lo cual se corresponde con una manera

bastante generalizada de presentar la tabla periódica, como si tabla en sí fuese algo que existe en la naturaleza y que los científicos han ido revelando poco a poco, más que una construcción humana que se usa para representar la ley periódica.

5.3.6 Sexto enunciado: atributos de la ley periódica

De los siguientes atributos de la ley periódica ¿cuáles se tratan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Atributos de la ley periódica	ESO			Bach		
	1	3	4	1	3	4
Es una ley científica como cualquiera otra	5	1	0	10	2	0
Es una ley característica de la química, diferente de las físicas	6	0	0	11	1	0
Es una ley empírica	4	2	0	9	2	1
Es una ley que ha sido explicada por la mecánica cuántica	5	1	0	4	5	3
Es una ley aproximada	6	0	0	11	1	0
Es una ley exacta, pero con excepciones	5	1	0	6	4	2
Es una ley explicativa	6	0	0	11	0	1
Es una ley de clasificación	0	5	1	0	6	6
Es una ley (otra)...	6	0	0	12	0	0

Tabla 29. Tabla de frecuencias del uso de atributos de la ley periódica

Lo primero que salta a la vista es que entre los aspectos que consideramos en la plantilla de análisis sólo hay uno que se expresa en la mayoría de libros de la muestra, implícita o explícitamente: el que se refiere a la ley periódica como ley de clasificación. Como veremos en los análisis individuales, aunque en algunos casos no se hace esta afirmación explícita, sí se comunica una idea de que el gran atributo de la ley periódica o de la tabla, y en ocasiones el único, es que ha servido para clasificar los elementos y se resalta la idea de su “explosión demográfica” en el siglo XIX.

Pocas veces (un solo libro en la muestra) se considera el poder explicativo, y no se dan elementos argumentativos sobre si es una ley puramente empírica o tiene alguna base teórica previa. Algunas veces se construye un relato (en bachillerato encontramos algunos textos, como se puede ver en los datos) que sugiere que la mecánica cuántica explica completamente la ley periódica y una retórica que intenta demostrarlo; o a veces, también, se construye una retórica que sugiere que la ley periódica se cumple de manera exacta. Para ello se suele usar la configuración electrónica y la variación periódica de propiedades

atómicas, especialmente la energía de ionización y el radio atómico, que son algunas de las propiedades con las cuales funciona la periodicidad de manera más nítida.

Como se puede ver en las casillas marcadas con verde intenso, encontramos algunas excepciones, sobre las cuales volveremos en el análisis de cada uno de los casos. La red sistémica nos muestra que hay una tendencia a comunicar un estatus más independiente de la ley periódica y no tanto como una ley comparable con las de la física.

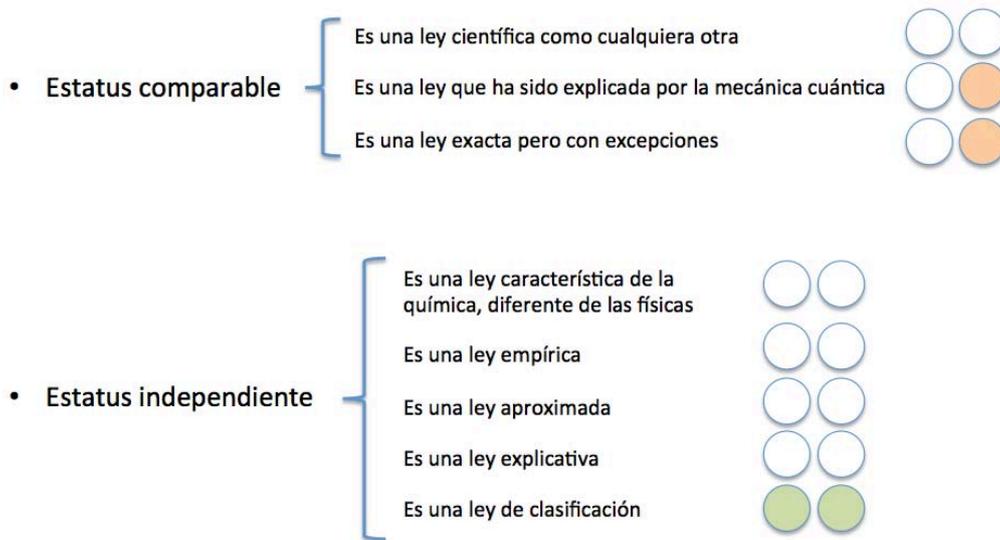


Figura 22. Red sistémica sobre el uso de atributos de la ley periódica

5.3.7 Séptimo enunciado: predicciones, correcciones y acomodación

De las siguientes acciones que pudieron haber sido importantes para la aceptación de la ley periódica por parte de la comunidad científica ¿cuáles se tratan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Acciones importantes para la aceptación de la ley periódica	ESO			Bach		
	1	3	4	1	3	4
Predicciones exitosas de elementos desconocidos y sus propiedades	2	0	4	2	0	10
Dar indicios de la existencia de una estructura interna de los materiales	6	0	0	10	0	2
Corrección y ajuste de datos de elementos ya conocidos	6	0	0	10	1	1
Dar coherencia al conocimiento químico como sistema	5	1	0	10	1	1
Sustentar una concepción de elemento químico bstracto e individual	6	0	0	12	0	0
Dar indicios de explicaciones teóricas de los hechos químicos	6	0	0	10	1	1
Dar indicios de la existencia física del átomo	6	0	0	11	0	1
Sustentar el comportamiento atómico de la materia	6	0	0	12	1	1
Otra...	6	0	0	12	1	1

Tabla 30. Tabla de frecuencias sobre la referencia a acciones para la aceptación de la ley periódica

Cuando se presenta la obra de Mendeleiev, en algunos libros de manera más detallada que en otros, se suelen mencionar las aportaciones de otros científicos (con frecuencia Döbereiner y Newlands como “predecesores”) y, generalmente, los trabajos de éstos científicos se suelen calificar como “intentos” de clasificación. También es corriente mencionar a Lothar Meyer, que en algunos relatos es “codescubridor” de la ley periódica, o al menos se cuenta que elaboró un sistema similar (o idéntico) al de Mendeleiev, al mismo tiempo y de manera independiente. La importancia que se da al químico ruso, en comparación con el alemán, se apoya casi exclusivamente en las predicciones de elementos y propiedades, de las cuales sólo se mencionan las que fueron exitosas (frecuentemente sólo se menciona el caso del germanio). De los ítems considerados en la plantilla de análisis éste es el único que aparece de forma generalizada; aunque, como se puede ver en la tabla, hay cuatro casos (dos en ESO y dos en bachillerato) en los que no se mencionan las predicciones.

También es frecuente encontrar como mérito de Mendeleiev y de Meyer, el haber podido clasificar (“organizar”, “ordenar”, “agrupar”, “acomodar”, etc.) los elementos en un momento histórico en el cual esto era una necesidad, debido a la gran cantidad de sustancias elementales que se estaban descubriendo y aislando. Pero los datos muestran que en pocos libros se menciona la importancia de otros aspectos como la corrección de pesos atómicos; o la importancia que tuvo como reto explicativo en la investigación que produjo los modelos atómicos; o la intención didáctica que tuvo y que continúa teniendo.

También es de resaltar que en casi todos los demás ítems encontramos algún caso que, contrariamente a la tendencia, sí comunica de manera explícita la idea que dicho ítem

representa. El único ítem que no tiene presencia en ninguno de los libros es el que relaciona el éxito de la tabla periódica Mendeleiev con su defensa del elemento abstracto. En el análisis individual veremos cómo se puede relacionar esto con los otros ítems y con la secuencia de introducción de la tabla periódica.

La red sistémica, que presentamos a continuación, muestra una tendencia a darle importancia al carácter de resultado más que al de herramienta de explicación, en el éxito de la tabla periódica de Mendeleiev.

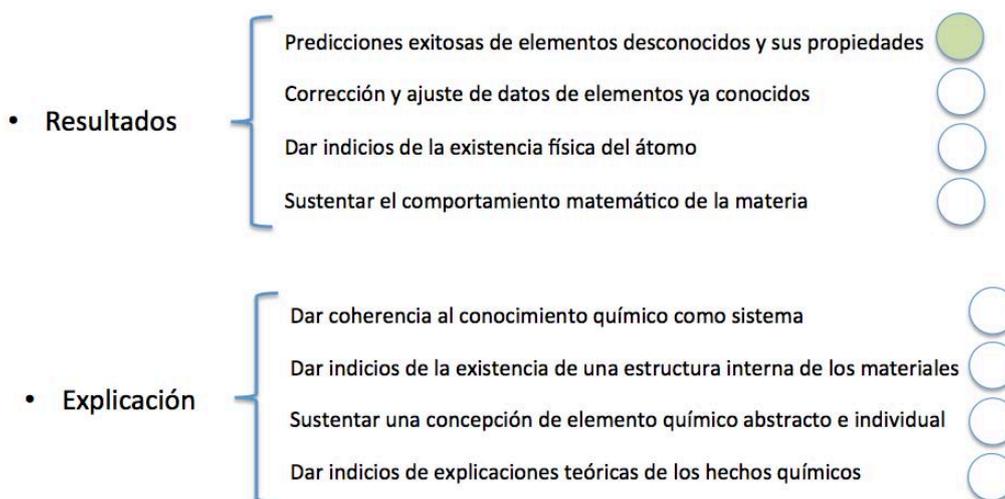


Figura 23. Red sistémica sobre la referencia a acciones para la aceptación de la ley periódica

5.3.8 Octavo enunciado: razones para enseñar la tabla periódica

De las siguientes posibles razones por las cuales es importante enseñar la tabla periódica ¿cuáles se mencionan en el texto? (1: no se utiliza, 3: se utiliza de manera implícita, 4: se utiliza de manera explícita)

Razones para enseñar la tabla periódica	ESO			Bach		
	1	3	4	1	3	4
Muestra las semejanzas entre los elementos químicos	0	1	5	0	2	10
Síntetiza gran parte del conocimiento químico	4	2	0	10	1	1
Es una de las ideas más brillantes de nuestra cultura científica	5	1	0	11	1	0
Ayuda a explicar el comportamiento de los átomos	5	1	0	8	3	1
Ayuda a explicar la interacción química entre las sustancias	6	0	0	10	1	1
Ayuda a recordar propiedades de los elementos químicos	5	1	0	8	2	2
Clasifica los bloques fundamentales de la materia	6	0	0	12	0	0
Ayuda a relacionar el nivel macroscópico con el nivel simbólico	5	1	0	6	5	1
Permite predecir posibles elementos desconocidos hasta ahora	6	0	0	12	0	0
Ayuda a explicar el comportamiento de las sustancias	6	0	0	10	1	1
Evidencia el carácter eléctrico de los fenómenos químicos	3	3	0	4	6	2
Sirve como herramienta para desarrollar competencias en clase	5	1	0	12	0	0
Es una representación visual de todos los elementos	6	0	0	10	1	1
Sugiere la existencia de estructuras internas de las sustancias	3	3	0	8	2	2
Permite ordenar y condensar mucha información en poco espacio	5	0	1	10	2	0
Acompaña a conceptualizar la experiencia química	5	1	0	11	1	0
Permite predecir fórmulas químicas	3	2	1	8	1	3
Ayuda a "fabricar" nuevos elementos	6	0	0	12	1	1
Otra...	6	0	0	10	0	2

Tabla 31. Tabla de frecuencias del uso de razones para enseñar la tabla periódica

Como se puede ver en la tabla, pocos libros mencionan las razones por las cuales es importante que los lectores aprendan lo que se les está explicando sobre la tabla periódica. La única razón que aparece de manera explícita en la mayoría de libros es que la tabla muestra las semejanzas entre los elementos, lo cual se corresponde con la idea de que la ley periódica es básicamente una ley de clasificación que, como hemos visto en el enunciado 6, se trata de una idea frecuente.

Encontramos algunos casos contrarios a las tendencias que ya describiremos en el análisis individual, pero es interesante resaltar los tres ítems cuya presencia o ausencia en los libros no es tan unánime como sucede con la mayoría de los casos. El primero de ellos, cuya división de "opinión" se presenta sólo en bachillerato, y es mencionado casi exclusivamente de manera implícita (sólo hay un caso que lo hace explícito), se refiere a la relación entre el nivel macroscópico y el nivel simbólico. Esta relación, si tenemos en cuenta el carácter trascendental del concepto de elemento, debería ser uno de los motivos importantes. Como veremos en los casos individuales, el nivel abstracto se suele difuminar en la retórica realista de los elementos, ya sea en su concepción macroscópica, como sustancia simple, o en la concepción de átomo físico.

El otro ítem que no muestra una tendencia definida, y que está muy relacionado con el anterior, es el que se refiere al carácter eléctrico de los fenómenos químicos. Esto está relacionado con la tendencia, sobretodo en bachillerato, de conducir el relato a la demostración de la periodicidad, casi exclusivamente basado en la configuración electrónica y en las fuerza electrostáticas entre protones y electrones, reduciendo prácticamente todos los fenómenos químicos a la explicación física usando las leyes de Coulomb. Con esta retórica el elemento-átomo (los protones, los electrones y el vacío que hay entre ellos) corre el peligro de convertirse en la realidad misma, explicada completamente con la interacción eléctrica y dejando de lado los fenómenos químicos.

Las valoraciones del ítem “Sugiere la existencia de estructuras internas de las sustancias” están dividida por mitades en ESO (en bachillerato es una tercera parte), pero los textos que expresan esta idea lo hacen de manera más implícita que explícita. También encontramos algunos textos que comunican que es importante aprender la tabla periódica porque “Permite predecir fórmulas químicas”. Esto se suele señalar en los libros que ofrecen más detalles sobre el trabajo de Mendeleiev y que, en algunos casos, invitan al lector a que siga un procedimiento similar para observar la periodicidad de diversas propiedades.

La red sistémica con las tendencias señaladas es la siguiente:

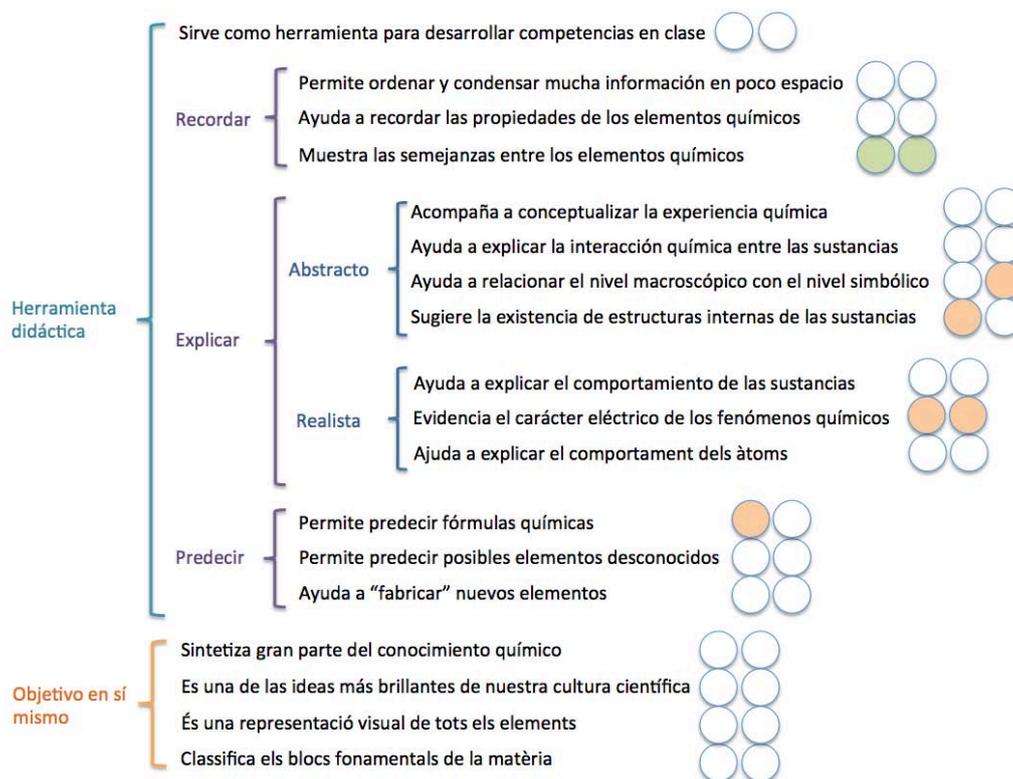


Figura 24. Red sistémica sobre el uso de razones para enseñar la tabla periódica

Las categorías señaladas se relacionan con una herramienta didáctica que, sobretodo, ayuda a recordar información. En la tabla de frecuencias, podemos ver que hay dos libros en los que encontramos una razón diferente a las que proponemos en la plantilla; ésta es que la tabla periódica sirve como fuente de información permanente, lo cual refuerza la categoría que hemos llamado "Recordar".

5.4 Análisis particular de los libros de texto

A continuación presentamos la interpretación de los gráficos y las categorías obtenidas de las redes sistémicas para cada libro y elaboramos un perfil para cada uno de ellos, teniendo en cuenta dichas interpretaciones.

Para configurar el perfil de cada libro tendremos en cuenta cinco aspectos que sintetizamos a partir de los datos y que explicamos a continuación: la concepción de elemento químico, la secuencia de contenidos, los aspectos sobre los formatos, el estatus de la ley periódica y la importancia de enseñar la tabla periódica. Estas características conforman una condensación del análisis que hemos hecho para cada uno de los libros y que nos permite

hacer comparaciones entre ellos y atrevernos a elaborar los “relatos” característicos con los cuales podemos relacionar las funciones didácticas de la tabla periódica.

Para justificar la visión de elemento en cada libro, que se comunica mediante los tres primeros aspectos (etiquetas, atributos y propiedades periódicas), presentamos los tres gráficos de interpretación correspondientes y a partir de ellos, enunciarnos una visión de elemento configurada por dos términos: uno sobre la caracterización del elemento (establecida con los dos primeros gráficos) y otra sobre la periodicidad (establecida a partir del tercer gráfico). Los dos términos pueden coincidir y reforzarse para formar una concepción de elemento coherente, o como en algunos casos, ser contradictorias. Por otra parte, como hemos visto en el análisis de los artículos, la manera de abordar la cuestión de los formatos y las consideraciones tanto sobre el estatus de la ley periódica como sobre la importancia del aporte de Mendeleiev, son cuestiones que está relacionadas con determinados posicionamientos en cuanto a la funcionalidad de la tabla periódica en las clases.

A continuación mostramos un esquema que resume lo explicado anteriormente sobre la identificación de la visión de elemento que comunican los libros de texto.

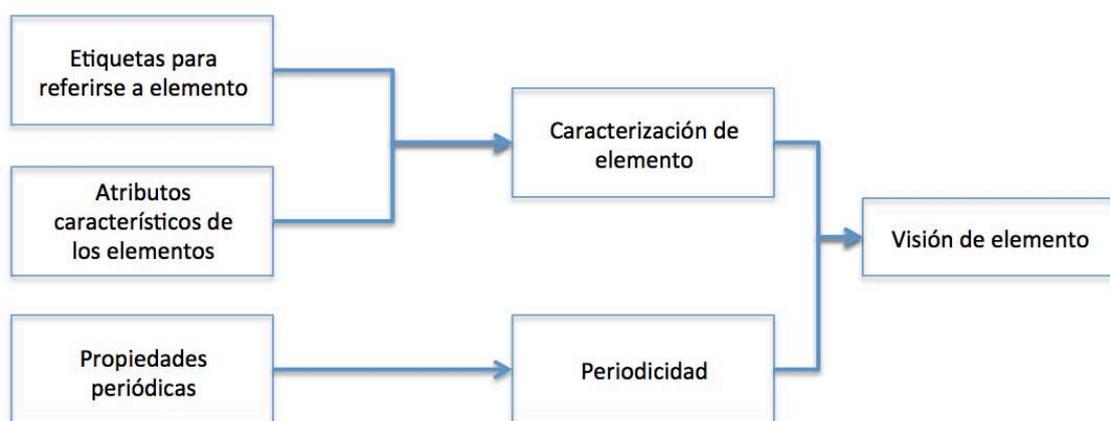


Figura 25. Esquema sobre la visión de elemento químico comunicada en los libros de texto

La secuencia es la vertebradora del perfil. Para incorporarla en éste, presentamos un esquema condensado que resume el orden secuencial de los ítems considerados en la plantilla de análisis y el relato de la secuencia, haciendo énfasis en las dos tablas periódicas, la de masas atómicas y la de números atómicos, además de considerar informaciones

adicionales del texto. Este orden secuencial para cada uno de los libros, como el que mostramos en el ejemplo de análisis (sección 5.2.2), se presenta en el anexo 3.

Para describir los tres aspectos restantes, presentamos las categorías resultantes de las redes sistémicas que hemos elaborado según las valoraciones de cada ítem correspondiente, tal como en el ejemplo anterior. Estas redes sistémicas, elaboradas para cada libro en cada una de las preguntas, están en el anexo 3.

A continuación presentamos, para cada libro, la concepción de elemento a partir de los tres esquemas bidimensionales (el de las etiquetas, el de los atributos y el de las propiedades periódicas), la descripción de la secuencia para introducir la tabla periódica centrada en el uso de las dos tablas periódicas (de masas y de números atómicos) y el perfil de cada uno, que consta de todas las características que hemos mencionado arriba: visión de elemento, diagrama de secuencia condensado, posicionamiento respecto a los formatos, estatus de la ley periódica y la importancia de enseñar la tabla periódica.

5.4.1 Libro LE1

Concepción de elemento químico

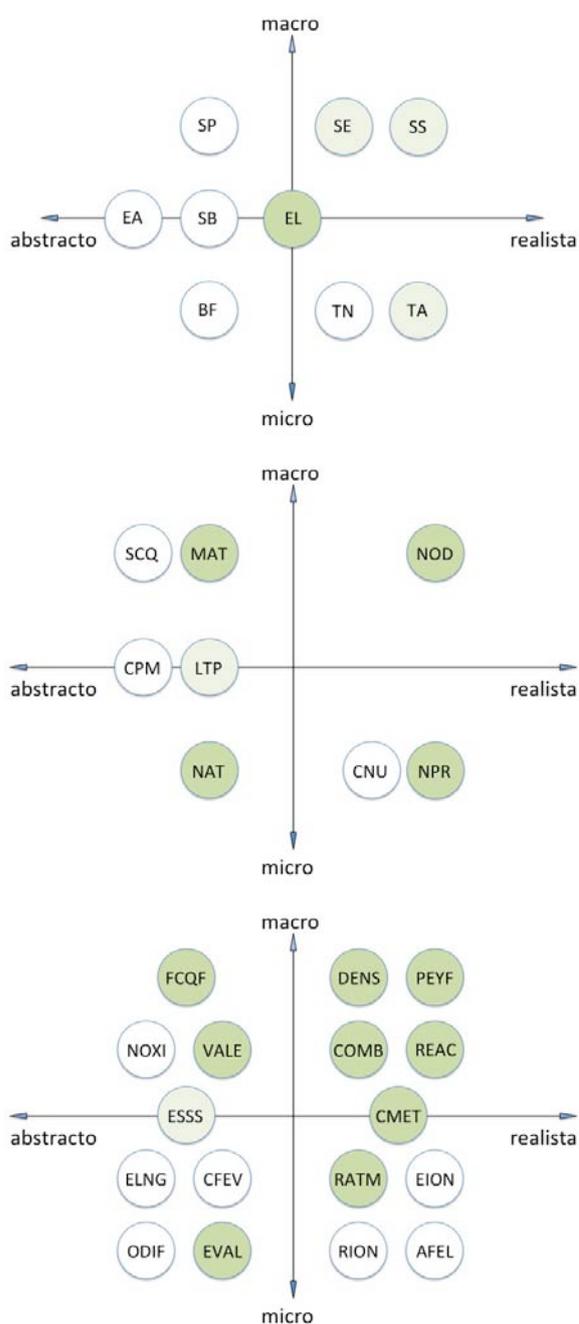


Figura 26. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE1

En general, se evidencia la intención de diferenciar entre “los átomo de los elementos” y las sustancias elementales. Se hace explícito que también existen “moléculas de elementos”. La caracterización de los elementos se plantea desde las acepciones tanto realistas como simbólicas, y tanto macroscópicas como atómicas. En cuanto a las propiedades que se utilizan para mostrar la periodicidad, éstas son en su mayoría realistas y macroscópicas, y son más químicas que físicas. En resumen, los elementos químicos están caracterizados contemplando aspectos de los cuatro cuadrantes y se usan etiquetas atendiendo a la diversidad de contextos. La periodicidad tiende a tratarse desde el punto de vista macroscópico real, como sustancia, y se tienen en cuenta las propiedades relacionadas con la interacción química.

Caracterización del elemento químico: Átomo, sustancia elemental y elemento abstracto (átomo físico y químico)

Periodicidad: Propiedades químicas de las sustancias macroscópicas

Secuencia para introducir la tabla periódica

La tabla periódica de masas y las propiedades periódicas de las sustancias macroscópicas, se presentan después de haber descrito las posiciones de los electrones en los átomos, ubicados en dos “regiones”: la “capa externa o de valencia” y la “capa interna o corazón del átomo”. Luego se vuelve al nivel microscópico presentando el cambio de criterio para la ordenación, con el número atómico como número de protones, y se trata la relación de igualdad entre éstos y los electrones (en átomos neutros) y entre éstos últimos y el comportamiento químico. Las dos tablas periódicas se usa para transitar de lo abstracto-micro a lo realista-micro, utilizando las propiedades químicas periódicas macroscópicas.

Perfil del libro de texto LE1

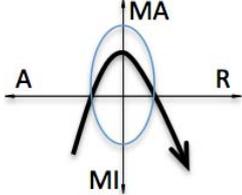
Elemento químico	Caracterización: átomo físico y químico Periodicidad: propiedades químicas macroscópicas	
Secuencia	Usa las dos tablas periódicas en conjunto para transitar de micro/abstracto a micro/real pasando por el nivel macroscópico de las sustancias.	
Formato de la TP	El más útil.	
Estatus de la LP	Es una ley química, empírica, de clasificación	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar, explicar y predecir fórmulas	

Tabla 32. Perfil del libro de texto LE1

5.4.2 Libro LE2

Concepción de elemento químico

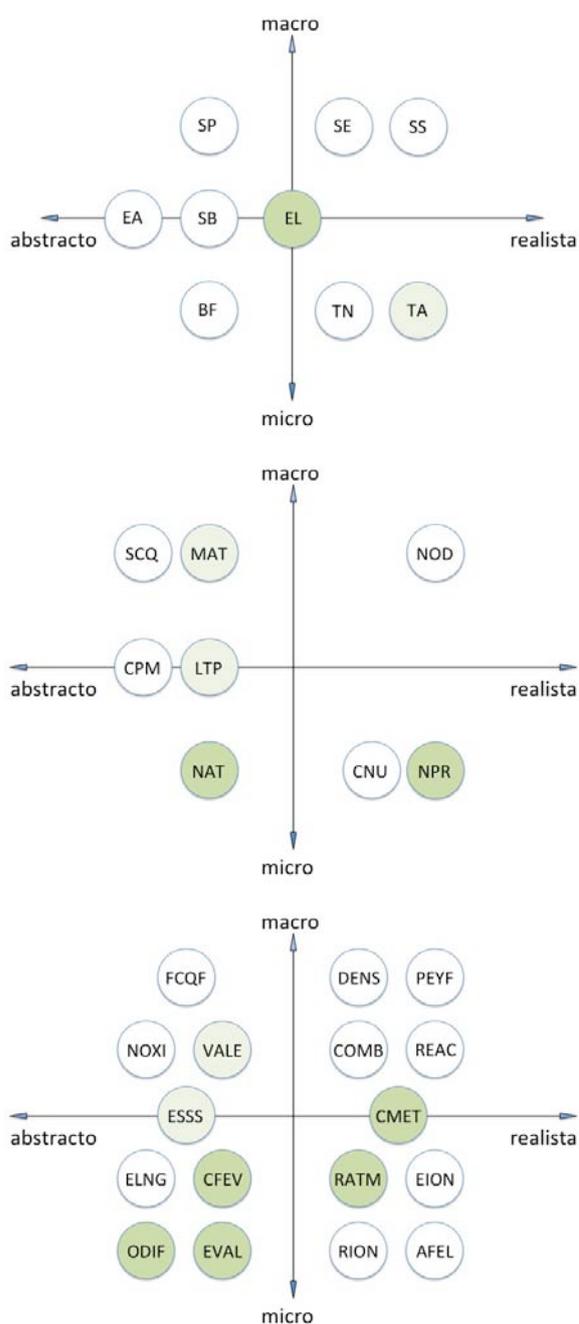


Figura 27. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE2

Además de referirse a los elementos como *tipos de átomos* (de manera implícita), el texto utiliza la palabra *elemento* para todos los contextos, sin diferenciar los términos para referirse a las sustancias elementales o a los átomos. Para caracterizar los elementos, además de usar el NPR, lo cual es habitual en la mayoría de libros, utiliza atributos abstractos tanto macroscópicos como atómicos. Las propiedades que utiliza el texto para enseñar la periodicidad son en su mayoría atómicas y abstractas. Si comparamos esto con las tendencias mayoritarias vemos que es el único libro de ESO que trata el orbital del electrón diferenciador (ODIF) y es uno de los pocos que trata la configuración electrónica de valencia entre los libros de ESO y el único que lo hace de manera explícita.

Caracterización del elemento químico: abstracta

Periodicidad: propiedades físicas del átomo de la mecánica cuántica

Secuencia para introducir la tabla periódica

Presenta la tabla periódica después de tratar los modelos atómicos, incluso el modelo de la mecánica cuántica, siendo el único libro de ESO que lo trata y uno de los 7 de toda la muestra que lo colocan antes de las tablas periódicas. Pero antes de presentar la tabla periódica de números atómicos (no se trata la de masas atómicas) se muestra la relación entre comportamiento químico y los electrones de valencia siguiendo una secuencia desde lo micro/abstracto hacia lo micro/realista, sin pasar por lo macro.

Perfil del libro de texto LE2

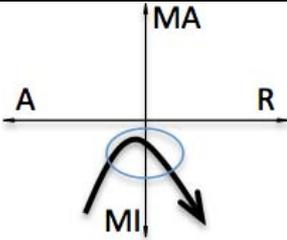
Elemento químico	Caracterización: abstracta Periodicidad: propiedades del átomo de la mecánica cuántica	
Secuencia	Usa la tabla (de números atómicos) para transitar de abstracto/micro a real/micro sin pasar por el nivel macro.	
Formato de la TP	El correcto, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley comparable con las físicas (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a explicar el comportamiento de los átomos y sus electrones	

Tabla 33. Perfil del libro de texto LE2

5.4.3 Libro LE3

Concepción de elemento químico

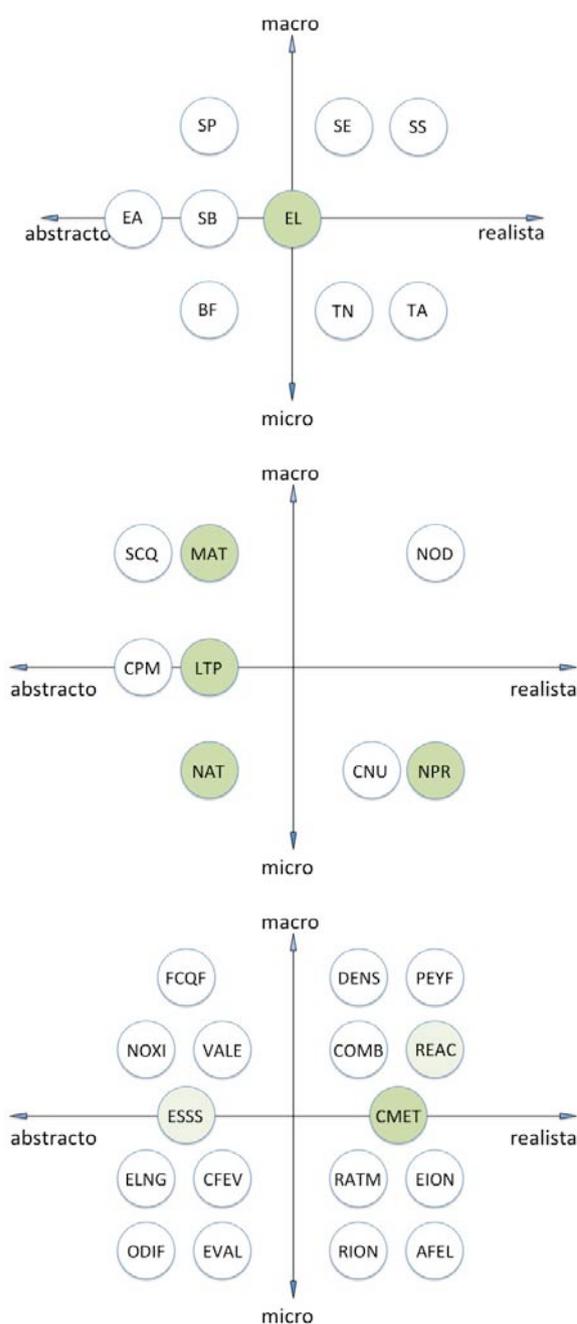


Figura 28. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE3

Es uno de los pocos que sólo usa la etiqueta elemento, pero forma parte de la mayoría que no usa más de dos etiquetas (EL y TA). El texto es cuidadoso al referirse a “átomos de elementos” cuando es necesario. La caracterización se asemeja a las de la mayoría al usar NAT, LPT, MAT y NPR, pero se hace énfasis en LTP, que no. El uso de REAC y ESSS no es explícito y aunque CMET sí lo es, no se despliega esta característica ni en términos micro ni en términos macro, sino que corresponde a una clasificación en “bloqs” de elementos. El texto destaca de la mayoría en que es uno de los que menos propiedades periódicas propone: LE5 y LB6 proponen 3, y LB11 propone 4, y el resto proponen como mínimo 7. El cuerpo principal del texto está dedicado a los átomos y en una lectura final a los halógenos como sustancias.

Caracterización del elemento químico:

Abstracto

Periodicidad: Tipo de elemento

Secuencia para introducir la tabla periódica

Después de describir los modelos atómicos en orden cronológico se mencionan los nombres de los grupos de la tabla periódica y se alude a la diferencia entre metales y no metales desde el punto de vista de la posición en la tabla periódica, apelando sólo al nombre y a la imaginario común de “objeto metálico”, sin especificar qué significa esto, ni desde el punto de vista químico ni físico, ni micro ni macro. Aunque se menciona que la tabla “... que s'utilitza actualment és una versió modificada [de la de Mendeleiev]” (p. 120), no se explica en qué consiste la modificación.

Si tenemos en cuenta lo anterior, y que después de la tabla periódica se tratan las estructuras internas pero no se hace la relación de manera explícita, la tabla periódica queda desconectada de la secuencia, como una información más del capítulo.

Perfil del libro de texto LE3

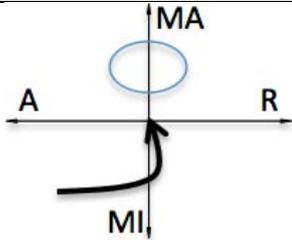
Elemento químico	Caracterización: abstracto Periodicidad: tipos de elementos	
Secuencia	La secuencia pasa de los átomos y sus partículas (micro/abstracto) a las estructuras internas (en el centro del diagrama), pero la TP queda desconectada.	
Formato de la TP	El correcto, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley química, de clasificación	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades	

Tabla 34. Perfil del libro de texto LE3

5.4.4 Libro LE4

Concepción de elemento químico

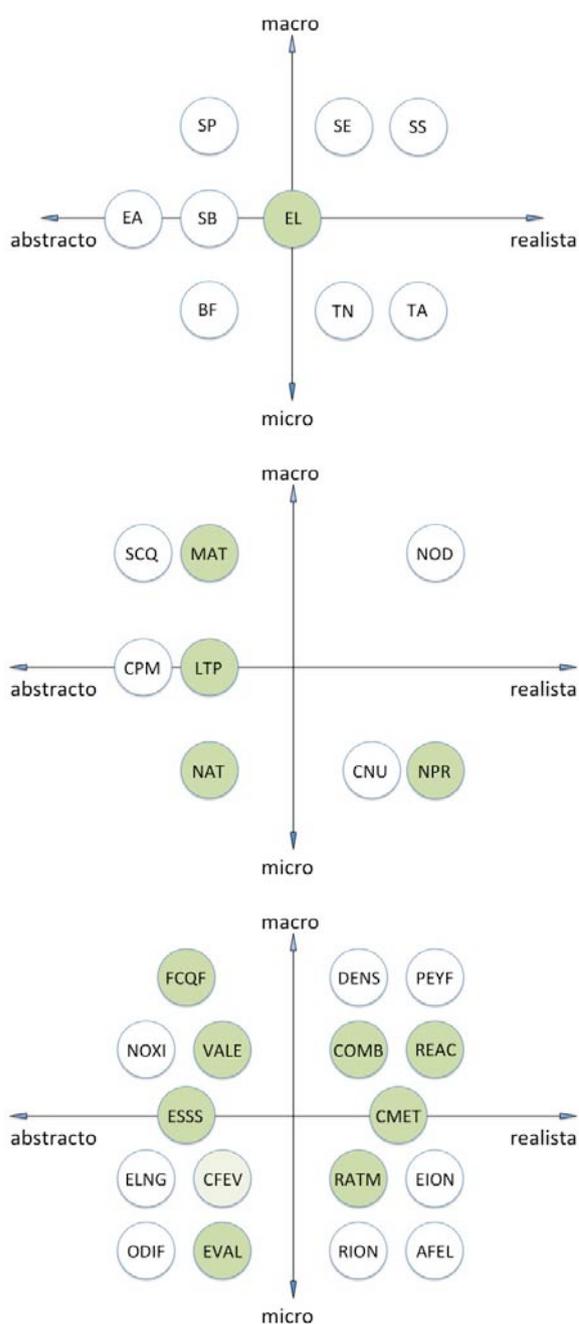


Figura 29. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE4

La tabla periódica se presenta en el capítulo sobre la estructura atómica. Los dos primeros aspectos (la etiqueta y los atributos) son iguales a los del libro anterior, pero en éste se hace más énfasis en la posición de los elementos en la tabla periódica como atributo característico. Se usan propiedades periódicas de los cuatro cuadrantes del esquema. El carácter metálico se despliega en sus diversas manifestaciones macroscópicas (brillo, maleabilidad, etc.). Se muestra la periodicidad tanto en la tabla de masas como en la tabla de números atómicos mediante propiedades de los átomos y de las sustancias macroscópicas. De las propiedades macroscópicas, son más importantes las químicas que las físicas.

Caracterización del elemento químico: abstracta

Periodicidad: propiedades químicas en general (macro, micro, abstractas, realistas)

Secuencia para introducir la tabla periódica

Esta secuencia es una de las pocas que comienza con las propiedades periódicas de las sustancias macroscópicas y con ellas llama la atención al alumno para introducir la tabla periódica de masas señalando su periodicidad. Se plantean actividades de clasificación de sustancias elementales según sus propiedades, y a partir de la periodicidad macroscópica el relato se adentra en la estructura del átomo para volver luego a la periodicidad de los electrones en los átomos y relacionarla con el comportamiento químico, formando un ciclo que empieza en el cuadrante macro/realista y acaba nuevamente en dicho cuadrante.

Perfil del libro de texto LE4

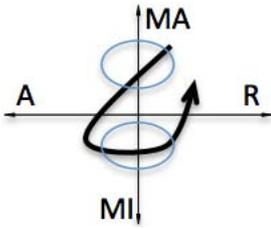
Elemento químico	Caracterización: abstracta Periodicidad: Propiedades químicas en general	
Secuencia	La secuencia hace un ciclo empezando en el cuadrante macro/real, pasando por abstracto/micro a través de la tabla de masas y volviendo a macro por medio de la tabla de números atómicos.	
Formato de la TP	El correcto, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley química, de clasificación	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades, explicar estructuras y predecir fórmulas químicas	

Tabla 35. Perfil del libro de texto LE4

5.4.5 Libro LE5

Concepción de elemento químico

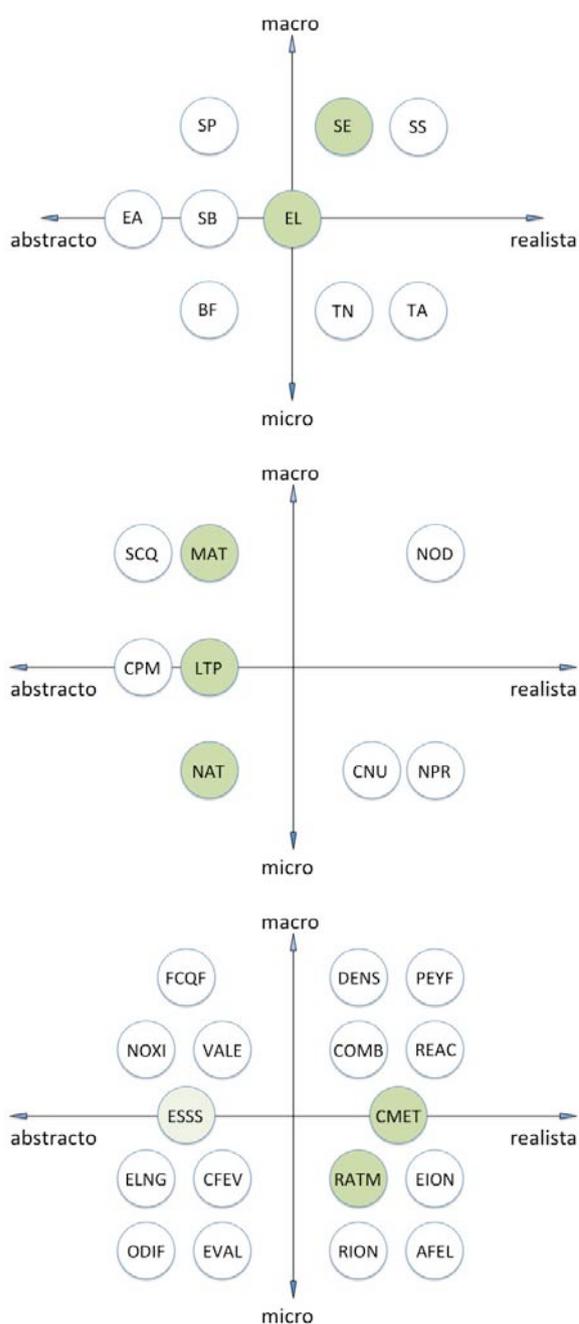


Figura 30. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE5

La tabla periódica se presenta en el tema sobre la estructura de la materia. Se usa mayoritariamente la palabra *elemento* para todos los contextos, tanto para referirse a átomos como a sustancias elementales; aunque, como muestra el esquema, este texto se diferencia de la mayoría en que en algunas ocasiones usa el término explícitamente para hacer la diferencia (SE). La caracterización es más abstracta que realista y se hace énfasis en los símbolos y en los nombres de los elementos, además de la posición en la tabla periódica, como atributos importantes. El carácter metálico se describe en términos macroscópicos y más físicos que químicos. Se muestra un gráfico con la variación del tamaño atómico, pero éste queda desconectado del relato, en un recuadro al margen de la página. La caracterización del elemento tiende a ser simbólica en comparación con los otros textos.

Caracterización del elemento químico: abstracta

Periodicidad: Propiedades físicas de las sustancias

Secuencia para introducir la tabla periódica

Después de explicar los modelos atómicos, se presentan las dos tablas periódicas de manera consecutiva, que didácticamente funcionan como una sola, y se tratan las propiedades físicas macroscópicas de las sustancias elementales, pero no se tratan las propiedades químicas. Más adelante se tratan las propiedades atómicas y las estructuras internas, pero no esto no queda ligado con la tabla periódica.

Perfil del libro de texto LE5

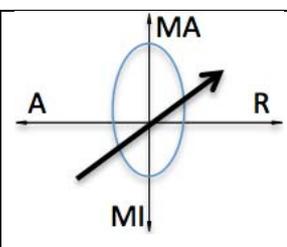
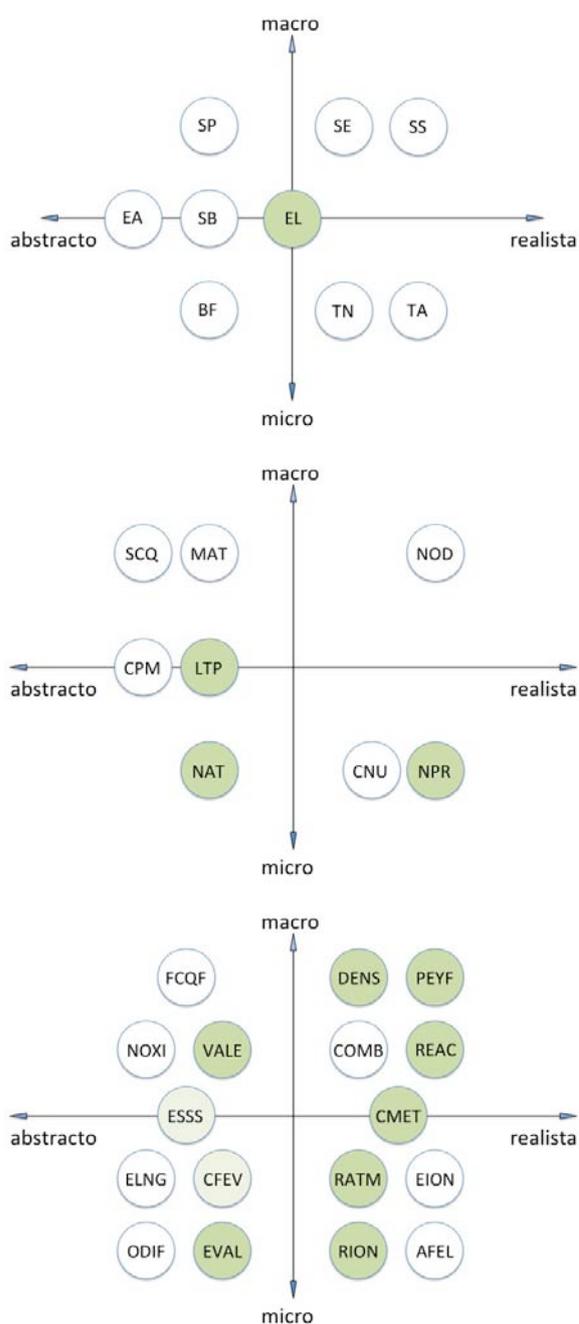
Elemento químico	Caracterización: abstracta Periodicidad: propiedades físicas macroscópicas	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como un todo. Se usan como un tránsito entre nivel abstracto/micro de modelos atómicos a las propiedades realista/macro de las sustancias.	
Formato de la TP	El correcto, porque es el actual	
Estatus de la LP	Es una ley química, de clasificación	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar y explicar las estructuras. Es una síntesis de conocimiento.	

Tabla 36. Perfil del libro de texto LE5

5.4.6 Libro LE6

Concepción de elemento químico



Dentro del tema dedicado a la tabla periódica se tratan los modelos atómicos y las configuraciones electrónicas. Sólo se usa la palabra elemento, tanto para referirse los átomos de los elementos como para las sustancias elementales. En la caracterización predominan los aspectos microscópicos, pero al tratar la periodicidad, se tratan propiedades de los cuatro cuadrantes. Se hace énfasis en las propiedades realistas, tanto macroscópicas como de los átomos. El carácter metálico se define en los dos niveles (macro y atómico). La caracterización tiende a ser atómica y la periodicidad es compleja porque tiene en cuenta propiedades de todos los cuadrantes. Utiliza propiedades como la reactividad y la valencia, que hacen énfasis en el carácter químico.

Caracterización: átomo físico

Periodicidad: Propiedades químicas y físicas en general (macro, micro, abstractas y realistas).

Secuencia para introducir la tabla periódica

Aunque en esta secuencia se tratan los modelos atómicos antes de las tablas periódicas, también se hacen relaciones entre las propiedades químicas y los electrones de valencia antes de tratarlas, y posteriormente se abordan las propiedades periódicas de los átomos, pero pasando antes por la relación entre la configuración electrónica y la posición en la tabla periódica. Las dos tablas, como un conjunto, sirven para usar los electrones de valencia como transición entre lo químico realista y la posición en la tabla periódica, que consideramos abstracto y neutro en el eje macro-micro.

Perfil del libro de texto LE6

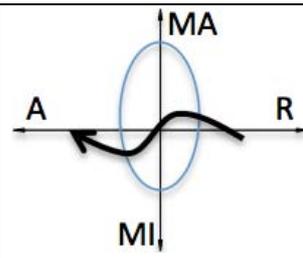
Elemento químico	Caracterización: átomo físico Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como un todo. Se usan junto con los electrones de valencia para relacionar las propiedades químicas con la posición de los elementos en la tabla periódica.	
Formato de la TP	El correcto, porque es el actual	
Estatus de la LP	Es una ley química, de clasificación	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar y explicar estructuras. Es una de las ideas más importantes de la ciencia.	

Tabla 37. Perfil del libro de texto LE6

5.4.7 Libro LB1

Concepción de elemento químico

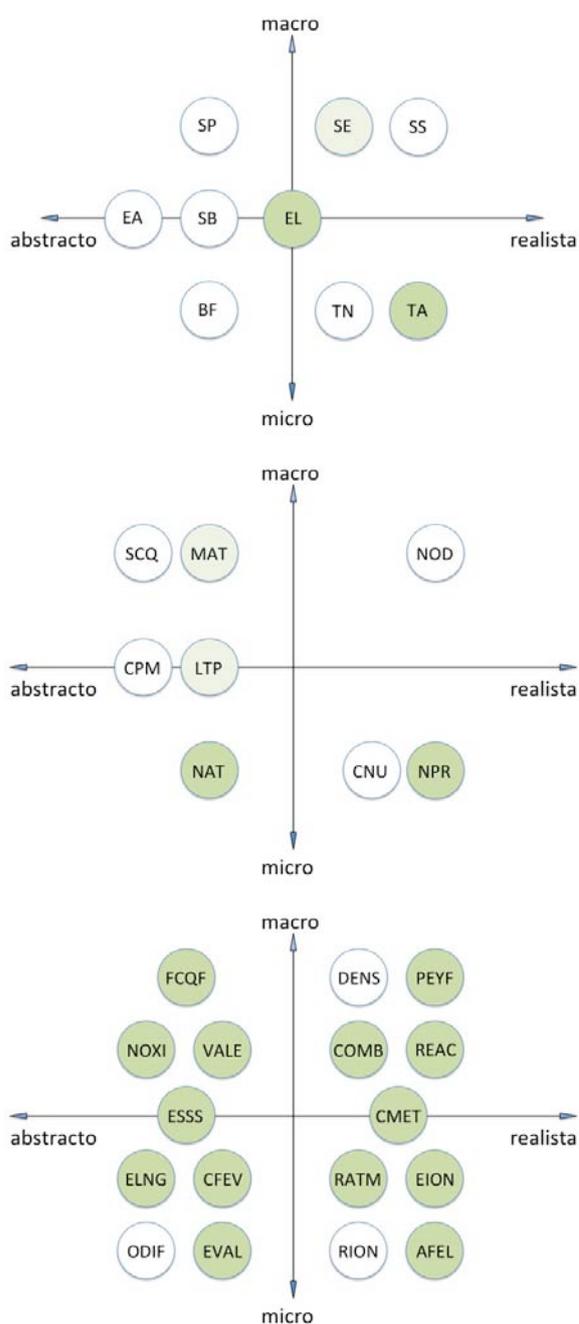


Figura 31. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB1

Además de la etiqueta elemento, suele diferenciar entre sustancia elemental y átomos. La caracterización tiende a ser simbólica porque el NAT no sólo se corresponde con el NPR sino también con el sitio en la tabla periódica y se hace énfasis en la identificación de los elementos por el grupo al que pertenecen y por la masa atómica. Para explicar la periodicidad se usan casi todas las propiedades propuestas en la plantilla de análisis, que están igualmente repartidas por los cuatro cuadrantes. Se hace énfasis en las propiedades químicas, aunque las físicas también son importantes, tanto las macroscópicas como las de los átomos.

Caracterización: átomo físico y químico

Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general

Secuencia para introducir la tabla periódica

Antes de la tabla periódica de masas se hace una descripción química de las “familias”, resaltando las semejanzas en cuanto a la reactividad y los compuestos que forma, sobretodo en las fórmulas de éstos. A partir de esta descripción se presenta la periodicidad con el criterio de la masa atómica mostrando la repetición periódica de las propiedades químicas. Se llama la atención sobre el orden del Ar y el K y se describe el modelo atómico nuclear de Rutherford antes de formular la nueva ley periódica.

Perfil del libro de texto LB1

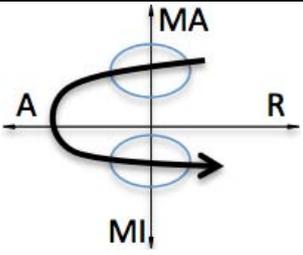
Elemento químico	Caracterización: átomo físico y químico Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general	
Secuencia	La tabla de masas se usa como transición de realista/macro a abstracto/macro, el átomo se usa como transición de macro a micro y la tabla de números atómicos de abstracto/micro a realista/micro	
Formato de la TP	El correcto, porque es el más útil	
Estatus de la LP	Es una ley química, empírica, explicativa y exacta	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y explicar estructuras e interacciones	

Tabla 38. Perfil del libro de texto LB1

5.4.8 Libro LB2

Concepción de elemento químico

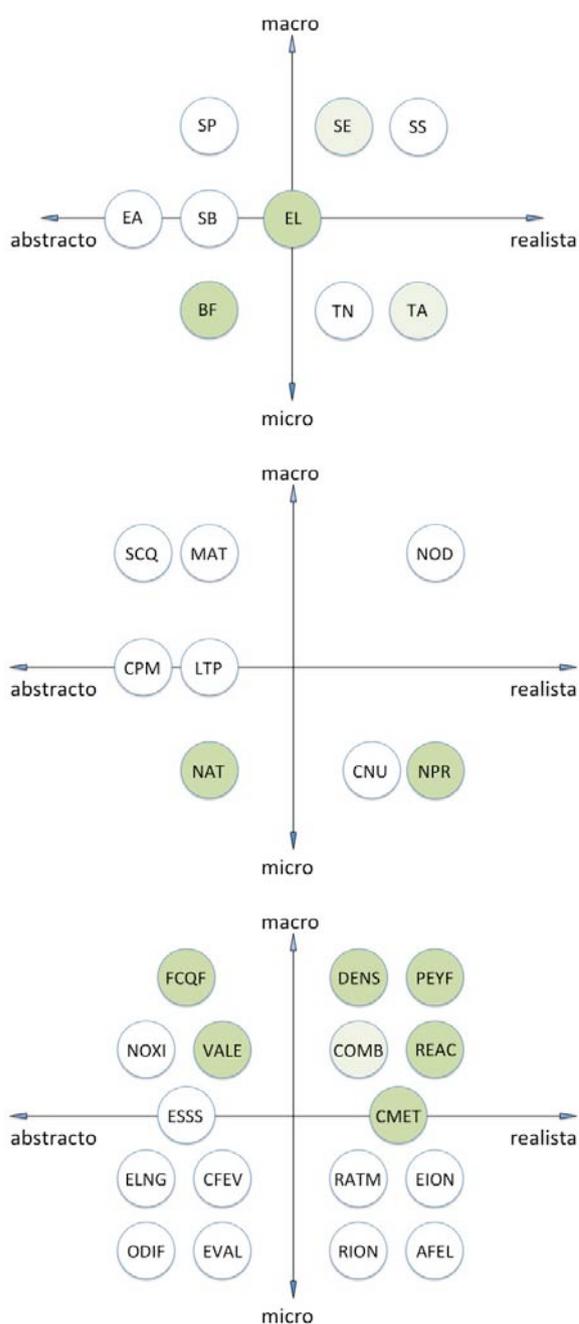


Figura 32. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB2

Aunque generalmente se usa la palabra *elemento* para todas las acepciones del concepto, como en la mayoría de libros, de vez en cuando se usan otras etiquetas para diferenciar las sustancias elementales de los átomos. La caracterización es microscópica porque se refiere al número atómico y el número de protones exclusivamente como atributos; pero las propiedades que se usan para presentar la periodicidad de los elementos son macroscópicas; el carácter metálico también se describe en términos macroscópicos (físicos y químicos), y el uso de las fórmulas, las valencias, la reactividad y la capacidad de combinación marcan el énfasis en el carácter químico aunque también se le da importancia al físico (PEYF, DENS... brillo, etc.)

Caracterización: átomo físico

Periodicidad: propiedades físicas y químicas macroscópicas

Secuencia para introducir la tabla periódica

Se describen las propiedades macroscópicas para mostrar la tabla periódica de Mendeleiev y se plantean actividades para observar la periodicidad en términos de la masa atómica, pero se señala que este tipo de ordenación carece de una explicación, para lo cual se introduce el modelo de Rutherford y se presenta la ordenación por números atómicos. En definitiva, la secuencia comienza en las propiedades macroscópicas (realistas), pasa a la abstracción (macro) usando la tabla periódica de Mendeleiev, usa el modelo de Rutherford para pasar al nivel micro, la tabla periódica de números atómicos para pasar al nivel realista nuevamente y vuelve a las sustancias macroscópicas mediante la relación entre electrones y propiedades químicas periódicas.

Perfil del libro de texto LB2

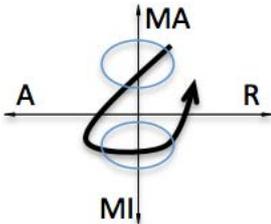
Elemento químico	Caracterización: átomo físico Periodicidad: propiedades físicas y químicas macroscópicas	
Secuencia	La tabla de masas es la transición de realista/macro a abstracto/macro, usa el átomo para pasar de macro a micro y la tabla de números atómicos de abstracto a lo realista/micro, para después pasar a realista/macro	
Formato de la TP	El correcto, porque es el actual	
Estatus de la LP	Es una ley química, empírica y aproximada	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y predecir fórmulas químicas.	

Tabla 39. Perfil del libro de texto LB2

5.4.9 Libro LB3

Concepción de elemento químico

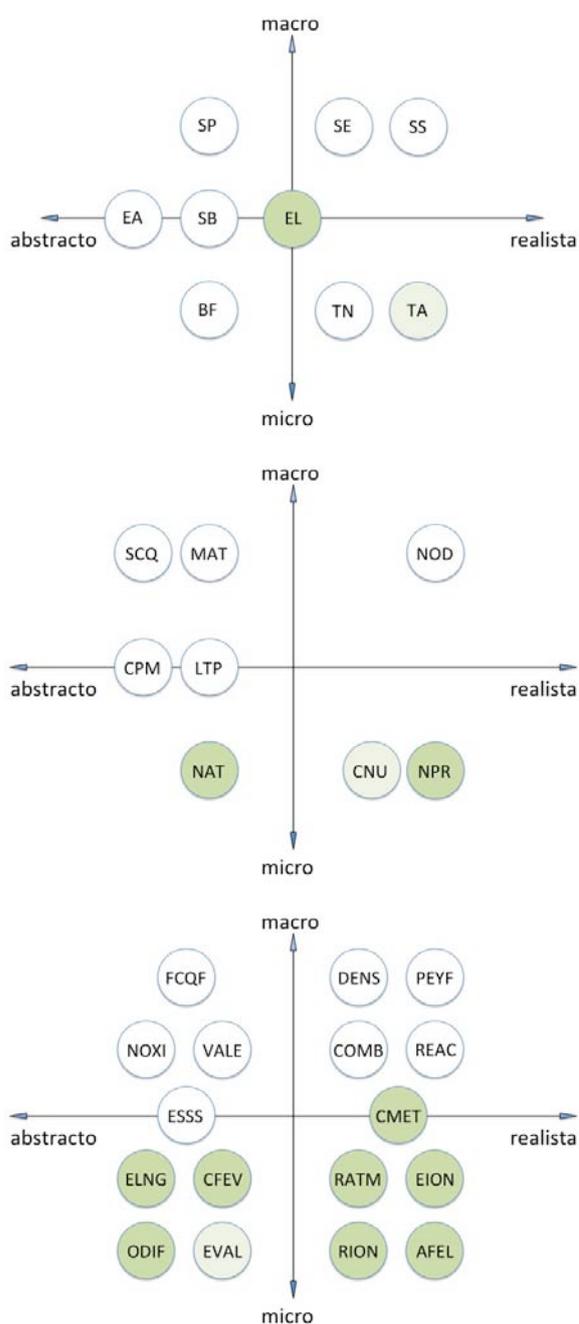


Figura 33. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB3

Se describen los modelos atómicos de Dalton, Rutherford, Bohr, incluido el modelo de la mecánica cuántica con todos los detalles y fórmulas matemáticas. Se usa la palabra elemento para referirse a los átomos pues no se tratan características de las sustancias macroscópicas. Aunque de manera implícita, es de los pocos libros que le da importancia a la carga nuclear como caracterización del átomo. Todas las propiedades periódicas que se usan son atómicas y se explica la influencia de las leyes de Coulomb en la variación periódica de las propiedades de los átomos.

Caracterización: átomo físico

Periodicidad: propiedades físicas de los átomos

Secuencia para introducir la tabla periódica

El relato se mantiene en el nivel micro abstracto, hasta que presenta la tabla periódica de Mendeleiev, pero sólo la explica como acontecimiento histórico, muy importante pero provisional, que es un paso más para obtener la tabla periódica correcta, que es la tabla de números atómicos. Las dos tablas funcionan como una sola dentro de la secuencia y se usan para pasar de lo abstracto a lo realista, manteniéndose en lo microscópico, a través de la tabla periódica de números atómicos.

Perfil del libro de texto LB3

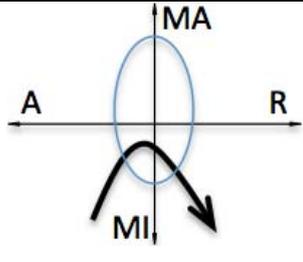
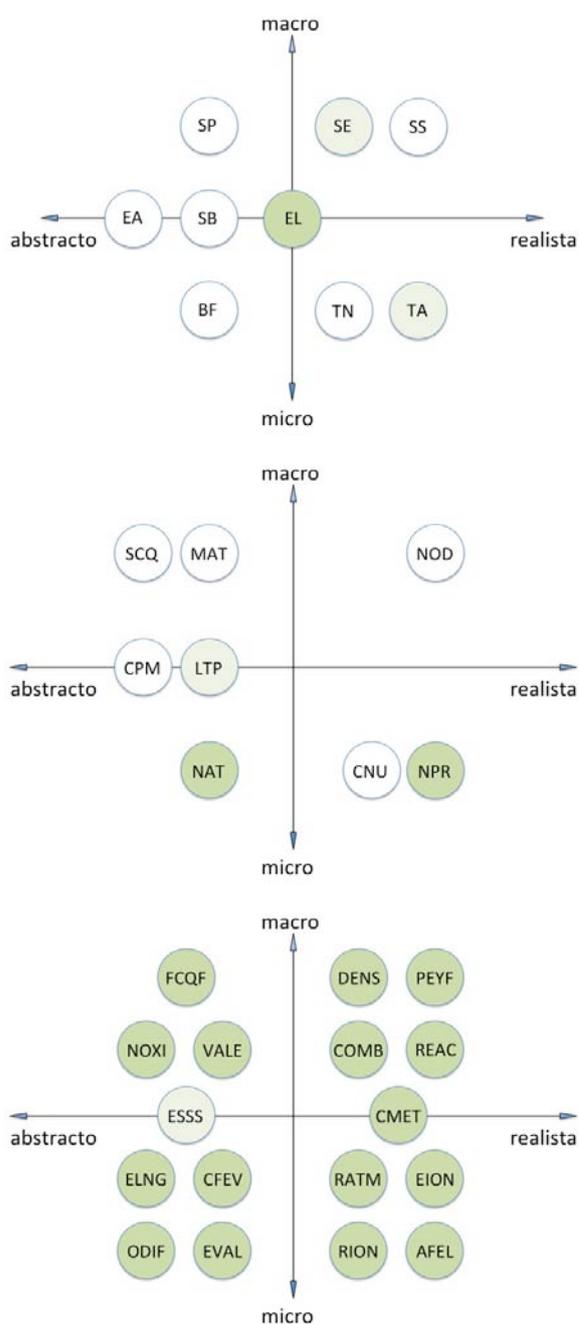
Elemento químico	Caracterización: átomo físico Periodicidad: propiedades físicas del átomo	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como una sola y se usa para transitar entre lo abstracto y lo realista, manteniéndose en el nivel de los átomos.	
Formato de la TP	El correcto, porque es el actual y es exacto	
Estatus de la LP	Es una ley comparable con las físicas (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y explicar configuraciones electrónicas	

Tabla 40. Perfil del libro de texto LB3

5.4.10 Libro LB4

Concepción de elemento químico



La tabla periódica se presenta al final del capítulo “Discontinuidad de la materia” y en el último capítulo se estudian las propiedades periódicas. Es el único de los libros de la muestra que presenta una definición explícita de elemento químico en el capítulo de la tabla periódica: “... un sistema multiatómico conformado por átomos, iones y/o moléculas y que no puede ser descompuesto químicamente en otros sistemas multiatómicos”. A pesar de esta rigurosidad, el texto usa la palabra *elemento* para referirse tanto a los átomos de los elementos como de las sustancias elementales. En el capítulo final del libro se estudian explícitamente todas las propiedades periódicas que proponemos en la plantilla, excepto ESSS, que se trata de manera implícita.

Caracterización: átomo físico

Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general

Figura 34. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB4

Secuencia para introducir la tabla periódica

La diversidad de propiedades periódicas se presenta al final del libro, en un capítulo a parte dedicado a la tabla periódica, pero en el capítulo en el que se introduce la ley periódica y las tablas periódicas, la secuencia permanece en el nivel microscópico. Particularmente, el criterio de ordenación por masa atómica se presenta después del criterio por número atómico, pero se aclara que la tabla de masas es un “antecedente” del sistema periódico que evidencia la ley periódica (de números atómicos). Las dos tablas funcionan como un todo en la secuencia, para transitar desde lo abstracto a lo real manteniéndose en lo micro.

Perfil del libro de texto LB4

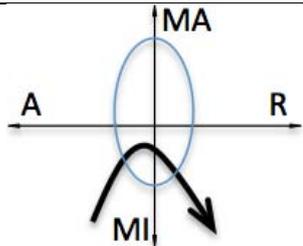
Elemento químico	Caracterización: átomo físico Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como una sola y se usa para transitar entre lo abstracto y lo realista, manteniéndose en el nivel de los átomos.	
Formato de la TP	El correcto, porque es exacto, aunque puede haber otros	
Estatus de la LP	Es una ley comparable con las físicas (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades, a explicar configuraciones electrónicas y a predecir fórmulas químicas	

Tabla 41. Perfil del libro de texto LB4

5.4.11 Libro LB5

Concepción de elemento químico

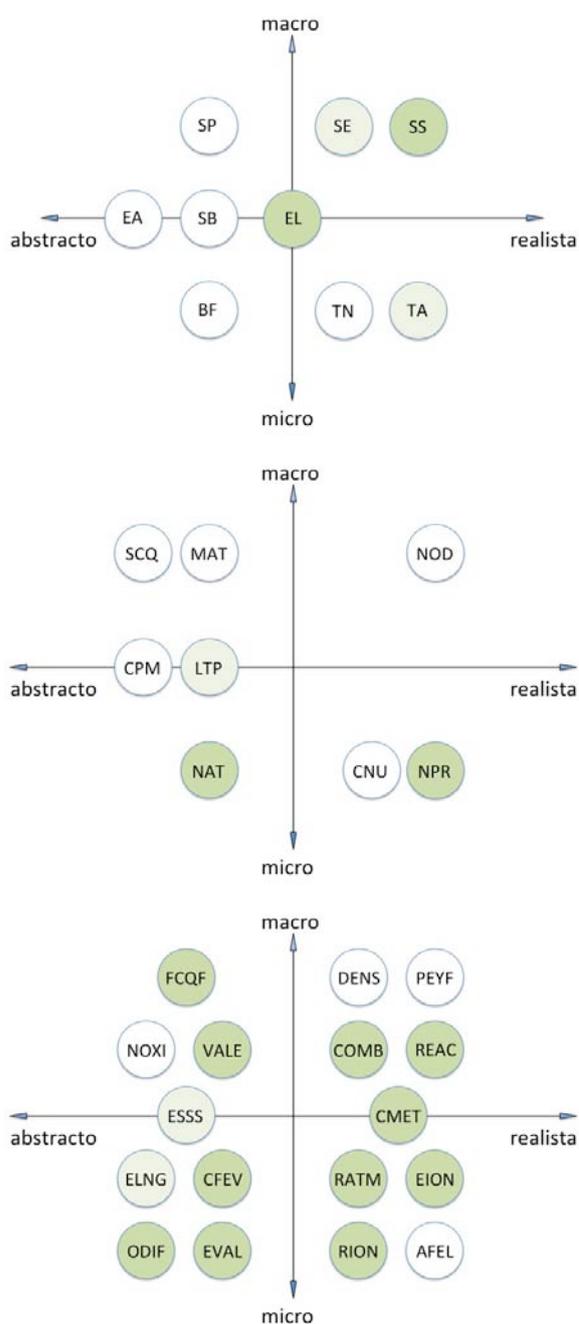


Figura 35. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB5

La tabla periódica se presenta en el capítulo en el que se presenta “Um modelo para os estados físicos dos materiais” y dentro de este capítulo, se presentan las dos tablas periódicas entre el modelo de Rutherford y el de Bohr. En general se usa solamente la palabra *elemento* para referirse a las diversas acepciones, pero a veces se usan otras etiquetas como *sustancia simple*, *tipos de átomos* y *sustancia elemental* (éstas de manera implícita). Se usan atributos microscópicos y las propiedades periódicas pertenecen a ambos niveles de las cada una de las dos dimensiones.

Caracterización: átomo físico y químico

Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general

Secuencia para introducir la tabla periódica

Se presentan las dos tablas consecutivamente en orden cronológico, y la de masas es un paso previo a la actual. La secuencia usa las dos tablas periódicas como un todo para transitar entre el modelo de Rutherford y el modelo de Bohr, manteniendo el relato en el nivel atómico. Posteriormente se pasa al nivel macroscópico después de haber relacionado las configuraciones electrónicas con la posición de los elementos en la tabla periódica.

Perfil del libro de texto LB5

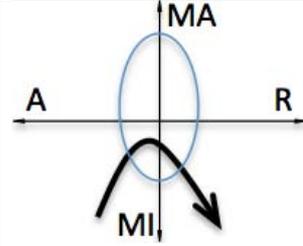
Elemento químico	Caracterización: átomo físico y químico Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como una sola y se usa para transitar entre lo abstracto y lo realista, manteniéndose en el nivel de los átomos.	
Formato de la TP	El correcto, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley comparable con las físicas (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y es una fuente de información	

Tabla 42. Perfil del libro de texto LB5

5.4.12 Libro LB6

Concepción de elemento químico

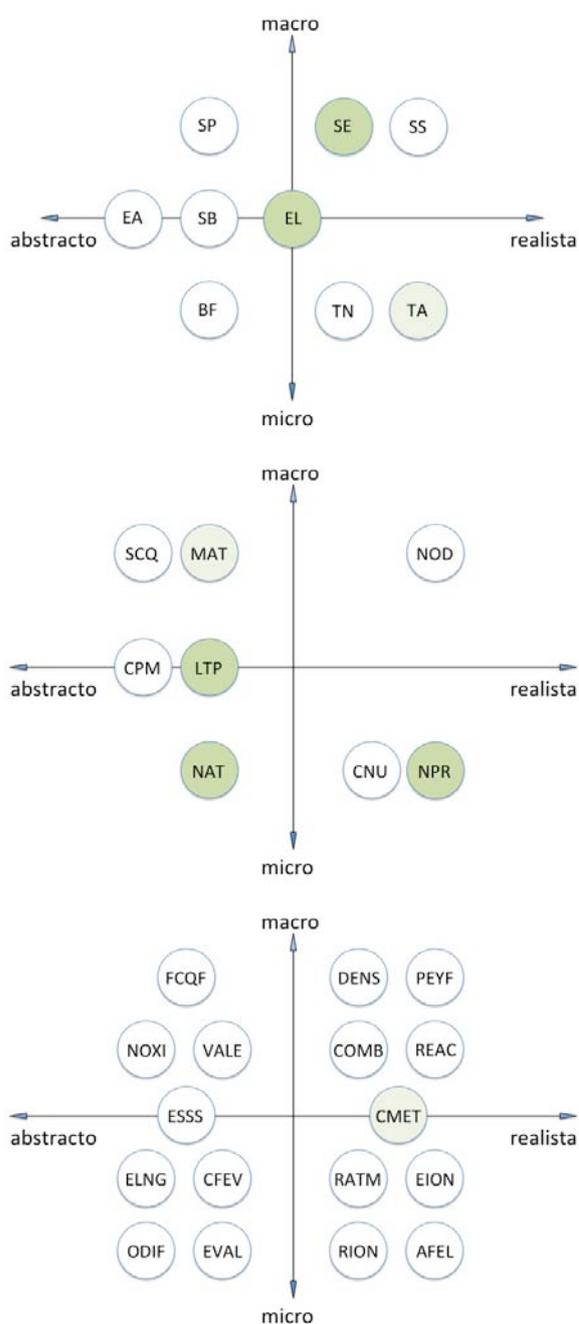


Figura 36. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB6

En los nombres de los capítulos ya se nota la particularidad del libro. Es significativo que a diferencia de la mayoría de libros, que presentan la tabla periódica ligada a la estructura del átomo, este texto la relaciona explícitamente con el lenguaje que, como se afirma, es "... el nivel simbólico de la química". Se evidencia la intención de usar correctamente términos como *sustancia elemental* y *elemento*, éste último como entidad simbólica. La posición en la tabla periódica, el símbolo y el nombre representan tanto a las sustancias como a los átomos de cada elemento. Se hace énfasis en la ordenación pero no en la periodicidad. Se muestra una tabla periódica con colores que representan el carácter metálico (que no se explica) y el estado de agregación. Éstos se refieren la idea de tipo de elemento metal (alcalino, alcalinotérreo, etc), no metal (gas noble, halógeno, etc.), pero nominalmente.

Caracterización: abstracta

Periodicidad: Tipo de elemento

Secuencia para introducir la tabla periódica

Se presenta una breve historia de la nomenclatura, en la que se muestran símbolos utilizados por los alquimistas, por Dalton, Lavoisier, etc., y se señala la relación de los nombres con las características de las sustancias que representan. Se llama la atención sobre el origen de algunos nombres más recientes y los símbolos de los elementos químicos. Se presenta el átomo nuclear de manera resumida y se muestra la tabla periódica, primero la de números atómicos (sin hacer explícito el criterio de ordenación) y después la de masas atómicas, para que los lectores comparen y descubran la diferencia de criterios. Las dos tablas se usan como un conjunto para transitar entre lo abstracto y lo realista, pasando por el átomo.

Perfil del libro de texto LB6

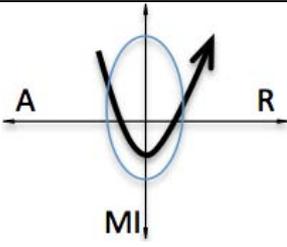
Elemento químico	Caracterización: abstracta Periodicidad: Tipo de elemento	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como una sola y se usa para transitar entre lo abstracto/macro y lo realista/macro, usando el átomo para el tránsito.	
Formato de la TP	El correcto, porque es el actual	
Estatus de la LP	Es una ley química, de clasificación	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a relacionar el nivel macro con el nivel simbólico	

Tabla 43. Perfil del libro de texto LB6

5.4.13 Libro LB7

Concepción de elemento químico

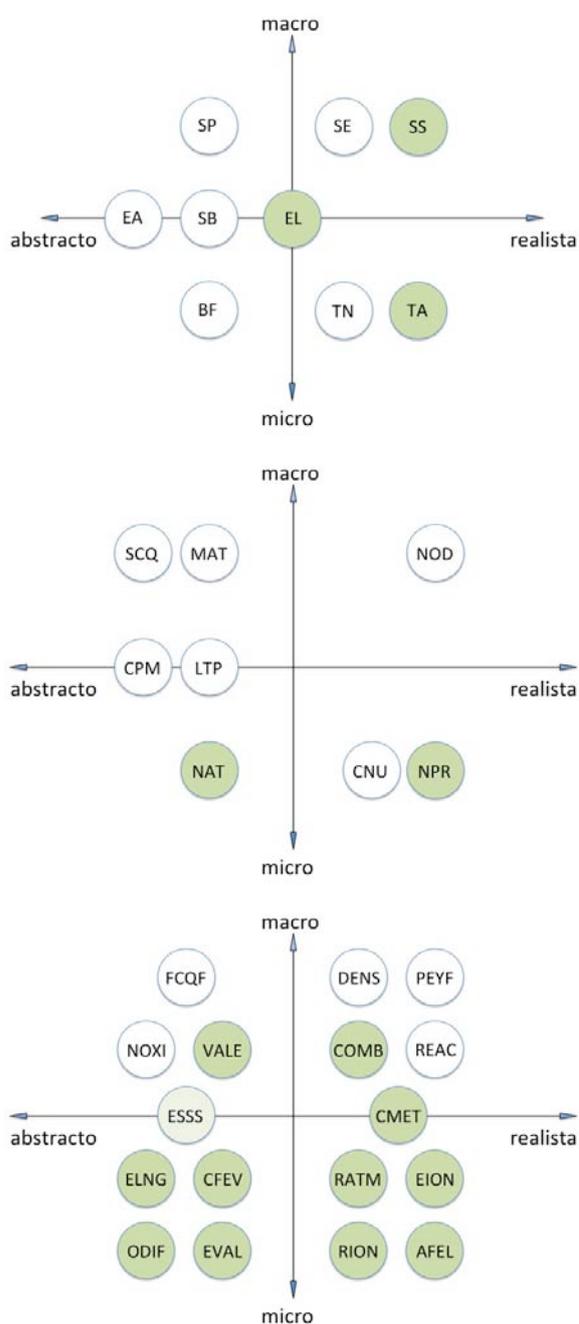


Figura 37. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB7

El sistema periódico se presenta en el primer capítulo del segundo crédito y en el primer tema de dicho capítulo. El título ya anuncia "... l'estudi de les propietats periòdiques". En la introducción se señala la importancia de dicho estudio, concretamente para las propiedades atómicas. Se diferencia claramente entre las propiedades atómicas y las propiedades de colectivos atómicos; y también se diferencia entre las definiciones históricas de elemento y la definición moderna, como tipo de átomo caracterizado por el número atómico, que corresponde al número de protones. Las propiedades que se estudian como periódicas, son en su mayoría de átomos, y se hace énfasis en el radio atómico, el radio iónico, la energía de ionización, la afinidad electrónica y la electronegatividad.

Caracterización: átomo de la mecánica cuántica

Periodicidad: propiedades físicas del átomo

Secuencia para introducir la tabla periódica

Se presentan los modelos atómicos, incluso el modelo de la mecánica cuántica, y posteriormente se formula la ley periódica de masas. Consecutivamente, después de tratar algunos aspectos históricos y los “inconvenientes” de la ley formulada por Mendeleiev, se pasa una “reformulación” de la ley en términos de números atómicos. Se relacionan las configuraciones electrónicas con la posición en la tabla periódica y se describen las propiedades periódicas de los átomos.

Perfil del libro de texto LB7

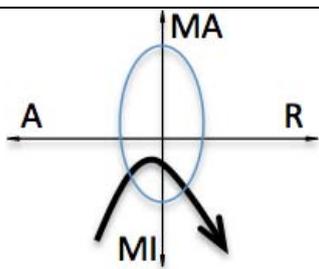
Elemento químico	Caracterización: átomo de la mecánica cuántica Periodicidad: propiedades físicas del átomo	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como una sola y se usa para transitar entre lo abstracto y lo realista, manteniéndose en el nivel micro.	
Formato de la TP	El más útil, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley química empírica, aunque exacta y comparable con las de la física (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y dar coherencia al conocimiento de la estructura de los átomos	

Tabla 44. Perfil del libro de texto LB7

5.4.14 Libro LB8

Concepción de elemento químico

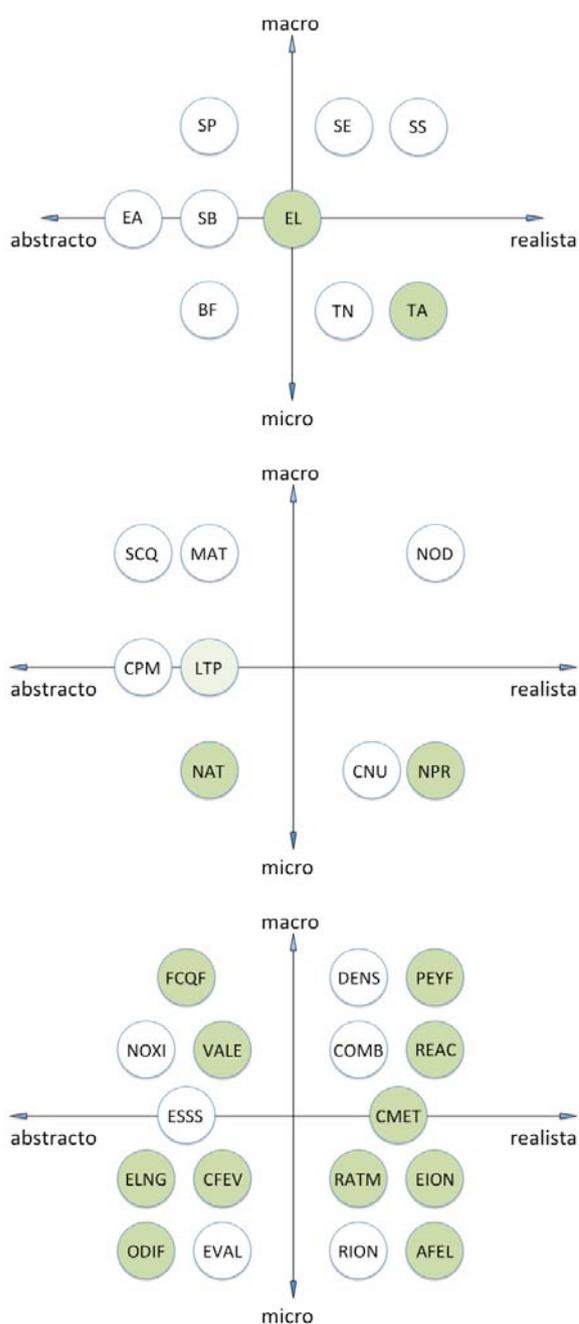


Figura 38. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB8

La tabla periódica se presenta en el primer crédito que ya anuncia la “Introducción a la mecánica cuántica” y en la segunda unidad de éste, después de haber descrito el modelo atómico cuántico. Aunque se usa la palabra *elemento* para referirse tanto a los átomo como a las sustancias macroscópicas, también se usa algunas veces el término *tipo de átomo*. La caracterización de los elementos se centra en el átomo, aunque se mencionan algunas propiedades macroscópicas como características que definen algunos grupos de elementos, en particular para diferenciar entre metales y no metales. El estudio de la periodicidad se hace con propiedades de los cuatro cuadrantes y se le da importancia a las propiedades del átomo mecánico cuántico. Aunque no se usa COMB sí se menciona REAC que también le da el carácter químico macroscópico a la periodicidad.

Caracterización: átomo de la mecánica cuántica

Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general

Secuencia para introducir la tabla periódica

El libro empieza describiendo el modelo atómico cuántico y las configuraciones electrónicas (con la respectiva posición en la tabla periódica), para lo cual se usa toda la primera unidad. La segunda unidad comienza con una breve mención de Mendeleiev y el éxito que tuvo con las predicciones, a partir de "... publicar la primera taula periòdica..." pero no se trata el tema más allá de esto. Se pasa directamente a la tabla periódica de números atómicos y se relaciona la posición de los elementos con las propiedades físicas y químicas de las sustancias macroscópicas. La tabla periódica de masas queda fuera de la secuencia.

Perfil del libro de texto LB8

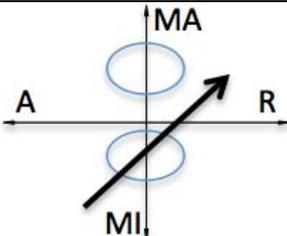
Elemento químico	Caracterización: átomo de la mecánica cuántica Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general	
Secuencia	Usa la tabla (de números atómicos) para transitar de abstracto/micro a real/macro. La tabla de masas no entra en la secuencia.	
Formato de la TP	El correcto, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley química empírica, aunque exacta y comparable con las de la física (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda predecir fórmulas químicas y a explicar el comportamiento de las sustancias a partir de la configuración electrónica de los átomos. También es una fuente de información.	

Tabla 45. Perfil del libro de texto LB8

5.4.15 Libro LB9

Concepción de elemento químico

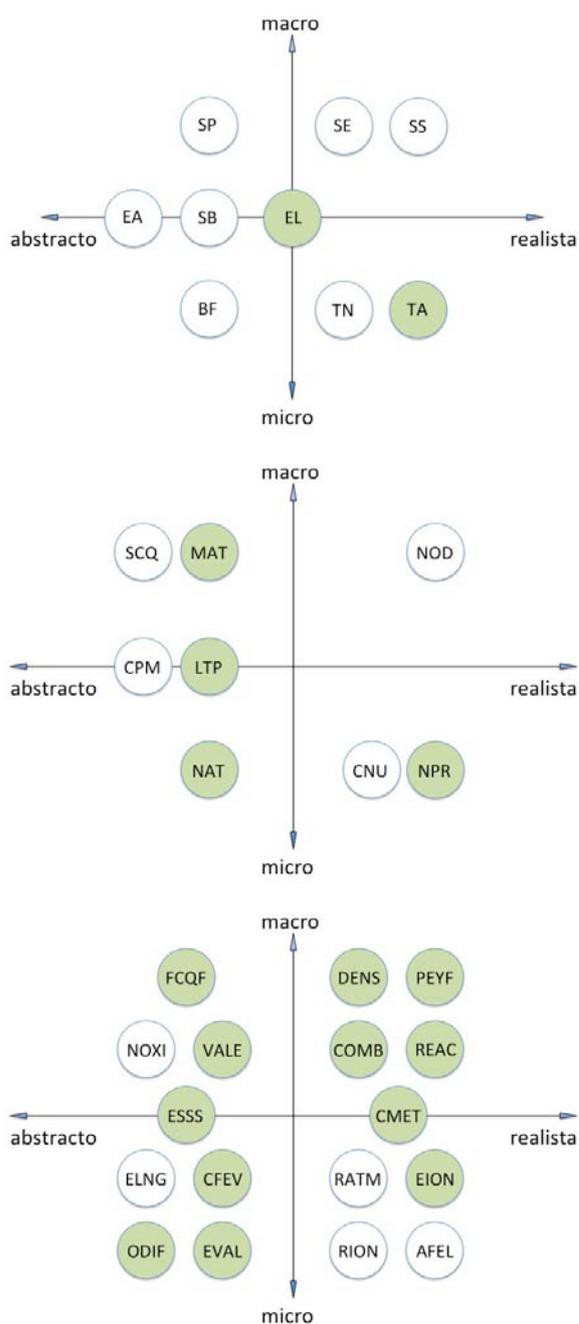


Figura 39. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB9

La tabla periódica se presenta en la mitad del libro, junto con la estructura del átomo (en el capítulo 6) y la distribución electrónica (en capítulo 7). La palabra *elemento* se usa indiferentemente tanto para los átomos como para las sustancias, a veces se usa el término *tipo de átomo*. Los atributos son más abstractos que realistas porque, además de los habituales NAT y NPR, también es importante el lugar en la tabla periódica y la masa atómica promedio para caracterizar a los elementos. Se trata una amplia gama de propiedades como propiedades periódicas, pero se hace énfasis en las macroscópicas y abstractas, y no se tratan las propiedades del átomo físico.

Caracterización: átomo químico

Periodicidad: propiedades físicas y químicas macroscópicas

Secuencia para introducir la tabla periódica

En los capítulos previos se trabaja con el átomo de Dalton y se estudia la arquitectura interna de las sustancias. El capítulo 6 comienza con la tabla periódica de Mendeleiev y se proponen actividades con ellas, para que los lectores sigan procesos similares a los que se dice que siguió el químico ruso (clasificación de tarjetas con propiedades de los elementos). A partir de ello se define el átomo de Rutherford y el concepto de isótopo y se pasa al nuevo criterio de ordenación por número atómico. Posteriormente se muestra la periodicidad del comportamiento químico para volver a las sustancias macroscópicas, cerrando un ciclo.

Perfil del libro de texto LB9

Elemento químico	Caracterización: átomo químico Periodicidad: propiedades físicas y químicas macroscópicas	
Secuencia	La tabla de masas es la transición de realista/macro a abstracto/macro, usa el átomo para pasar de macro a micro y la tabla de números atómicos de abstracto a lo realista/micro, para después pasar a realista/macro	
Formato de la TP	El correcto, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley química, de clasificación	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y relacionar las estructuras internas con las propiedades macroscópicas	

Tabla 46. Perfil del libro de texto LB9

5.4.16 Libro LB10

Concepción de elemento químico

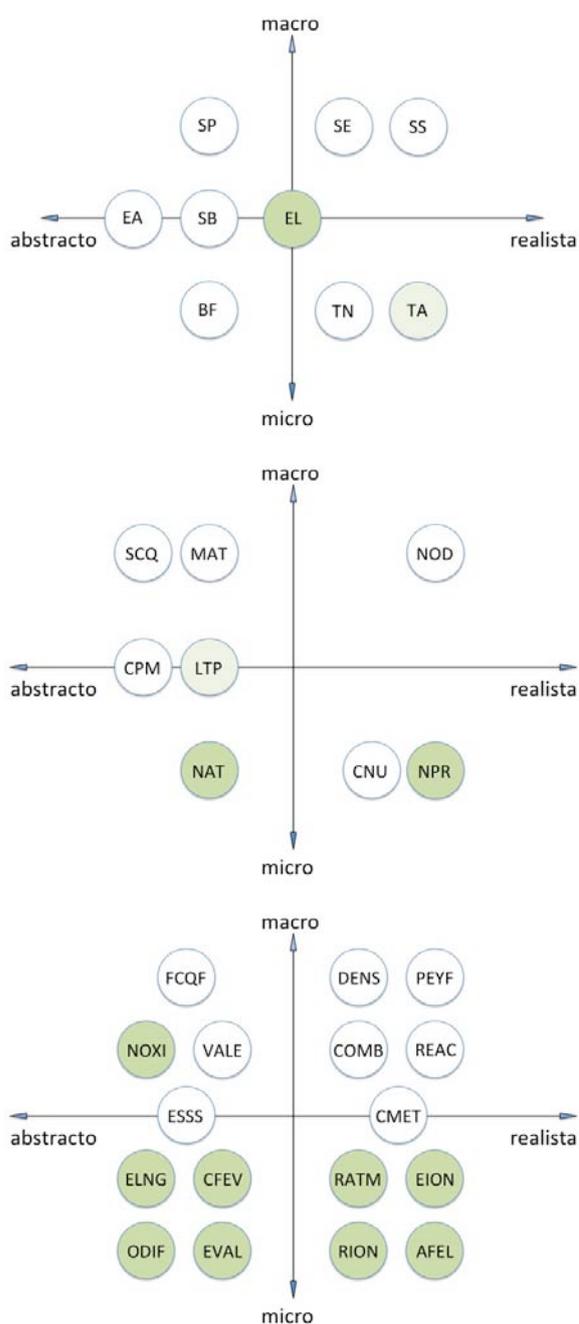


Figura 40. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB10

La tabla periódica se trata al final del libro, en el penúltimo tema (Àtoms y molècules), antes de “La síntesi orgànica”. Se tratan en profundidad los modelos atómicos de Rutherford, Bohr y el de la mecánica cuántica. Se usa la etiqueta *elemento* indiferentemente para referirse tanto a los átomos como a las sustancias macroscópicas. La caracterización es netamente atómica y las propiedades periódicas también, haciendo énfasis en el tamaño atómico, la energía de ionización, la afinidad electrónica, la electronegatividad y los números de oxidación.

Caracterización: átomo de la mecánica cuántica

Periodicidad: propiedades físicas del átomo

Secuencia para introducir la tabla periódica

Después de tratar la configuración electrónica se usa la tabla periódica de números atómicos (no se trata la de masas atómicas) y se tratan directamente las propiedades periódicas de los átomos, cuya variación se explica con la interacción electrostática entre protones y electrones. El relato se mantiene en el nivel microscópico y se usa la tabla periódica para transitar de lo abstracto a lo realista.

Perfil del libro de texto LB10

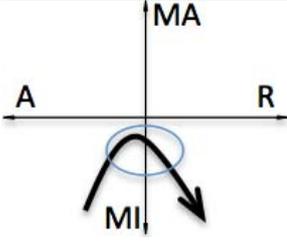
Elemento químico	Caracterización: átomo de la mecánica cuántica Periodicidad: propiedades físicas del átomo	
Secuencia	Usa la tabla (de números atómicos) para transitar de abstracto/micro a real/micro sin pasar por el nivel macro.	
Formato de la TP	El correcto, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley comparable con las físicas (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y a explicar el comportamiento de los átomos y sus electrones. También es una importante fuente de información.	

Tabla 47. Perfil del libro de texto LB10

5.4.17 Libro LB11

Concepción de elemento químico

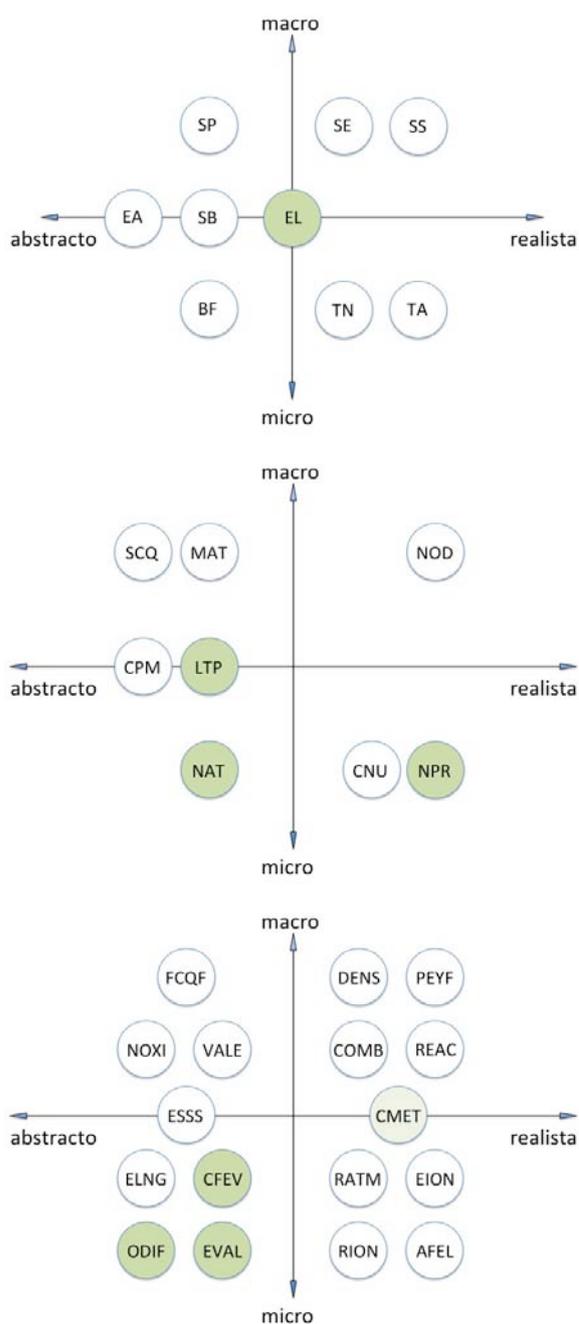


Figura 41. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB11

La tabla periódica se trata en una unidad dedicada completamente a ella, la unidad 8 cuyo título es La taula periòdica. En la unidad anterior se trata la estructura de la materia y en la posterior el enlace químico. Se presentan los modelos atómicos (incluyendo el de Kelvin y de Nagaoka, que no se suelen mencionar en los libros de texto). El modelo "actual" se describe con amplio detalle matemático. Se usa la palabra *elemento* tanto para referirse tanto a los átomos como a las sustancias. La caracterización es netamente atómica y se le da importancia al sitio que ocupa cada elemento en la tabla periódica como atributo característico. A pesar de las diversas menciones que se hacen de la relación entre las propiedades químicas y la configuración electrónica, la única propiedad química que se menciona es el carácter metálico, mediante un ejemplo.

Caracterización: átomo de la mecánica cuántica

Periodicidad: propiedades del átomo mecánico cuántico

Secuencia para introducir la tabla periódica

La unidad 8 (La taula periòdica) está dividida en secciones que tratan, en su orden, la evolución histórica, la tabla periódica actual y la estructura electrónica. Se hace una descripción detallada de la tabla periódica de Mendeleiev de 1871 y algunas de las “excepciones aparentes” de las predicciones, cuya solución se logró al cambiar de criterio al número atómico para caracterizar los elementos químicos. Se presenta la tabla periódica “actual”, los nombres de los grupos, se relaciona la posición con las configuraciones electrónicas diferenciando las reglas de ocupación de orbitales para tres tipos de elementos (representativos, de transición y de transición interna) y se muestra la tabla periódica dividida en los bloques que estos configuran. Las dos tablas periódicas funcionan como un todo para pasar de lo abstracto a lo real manteniéndose en el nivel micro.

Perfil del libro de texto LB11

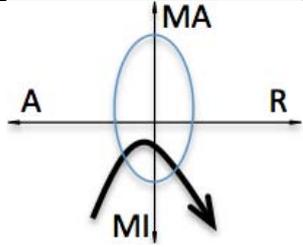
Elemento químico	Caracterización: átomo de la mecánica cuántica Periodicidad: propiedades del átomo mecánico cuántico	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como una sola y se usa para transitar entre lo abstracto y lo realista, manteniéndose en el nivel de los átomos.	
Formato de la TP	El correcto, porque es el actual y es exacto	
Estatus de la LP	Es una ley comparable con las físicas (enfoque normativo)	
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y explicar configuraciones electrónicas	

Tabla 48. Perfil del libro de texto LB11

5.4.18 Libro LB12

Concepción de elemento químico

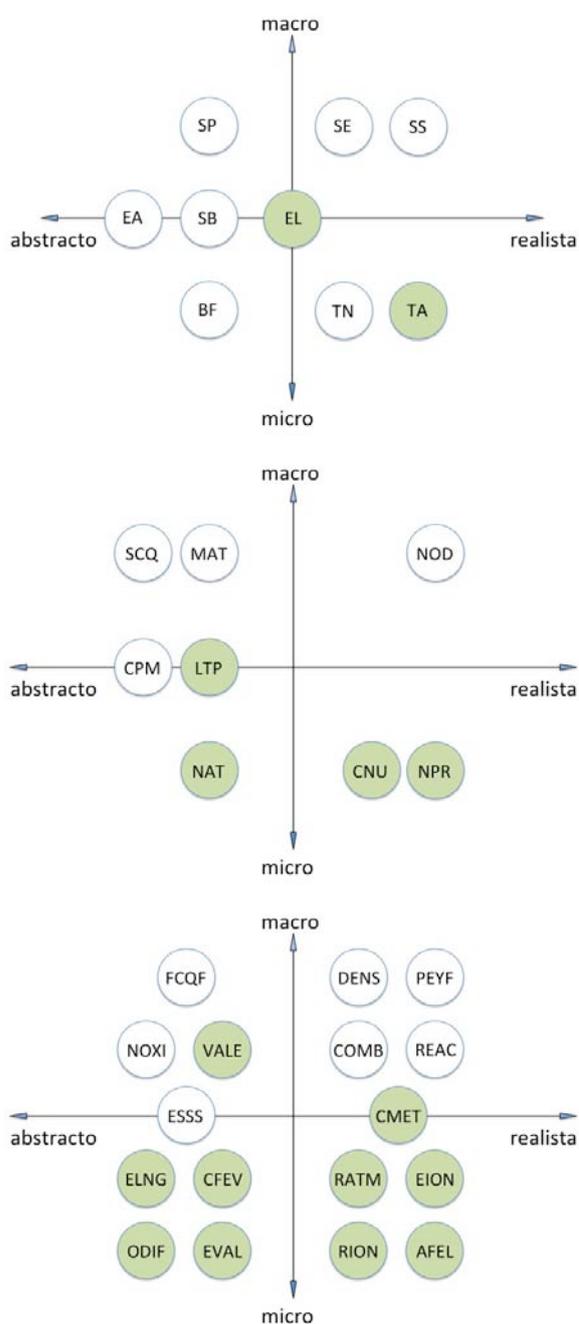


Figura 42. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB12

La tabla periódica se trata en la primera unidad del libro: “Estructura de la materia”. La unidad siguiente trata el “Enlace químico”. Se presentan detalladamente los modelos de Bohr y el de la mecánica cuántica. En general, se usa el término *elemento* para referirse tanto a los átomos como a las sustancias macroscópicas, aunque a veces se usa la expresión “átomo de...”. Los atributos son netamente atómicos y se le da importancia tanto al sitio ocupado en la tabla periódica como a la carga nuclear, cuya consideración como característica principal se le atribuye a Moseley y ésta forma parte importante del cambio de criterio de ordenación al pasar de masa atómica a número atómico. Las propiedades periódicas tratadas son básicamente atómicas, la valencia es tratada en términos electrónicos y el carácter metálico también.

Caracterización: átomo de la mecánica cuántica

Periodicidad: propiedades del átomo mecánico cuántico

Secuencia para introducir la tabla periódica

Después de describir los modelos atómicos y detallar, sobretodo, los modelos de Bohr y de la mecánica cuántica, se presenta las tablas periódicas de Mendeleiev y Meyer. Se hace un preámbulo histórico con las triadas y la ley de octavas. Se señalan las “Predicciones y defectos” de la tabla periódica de masas y se incluye en esto la posición problemática del hidrógeno y la de los lantánidos y actínidos, que no se suele mencionar en los libros de texto). Se presenta la ley de Moseley y se resalta el papel ordinal del número atómico. Se presenta el “Sistema periódico Actual”, se nombran los grupos, se plantea el carácter metálico como propiedad periódica. Se relaciona la configuración electrónica con la posición en la tabla y se explican las propiedades “físico-químicas” de los elementos y su variación periódica: energía de ionización, afinidad electrónica, electronegatividad, tamaño atómico y tamaño iónico. Esta variación se explica con base en la atracción electrostática entre protones y electrones.

Perfil del libro de texto LB12

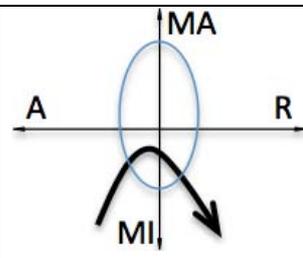
Elemento químico	Caracterización: átomo de la mecánica cuántica Periodicidad: propiedades del átomo mecánico cuántico	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como una sola y se usan para transitar entre lo abstracto y lo realista, manteniéndose en el nivel de los átomos.	
Formato de la TP	El correcto porque es exacto, aunque puede haber otros	
Estatus de la LP	Es una ley comparable con las físicas (enfoque normativo)	
Importancia de enseñar la TP	Herramienta didáctica que ayuda a recordar propiedades y evidenciar la exactitud de la mecánica cuántica configuraciones electrónicas	

Tabla 49. Perfil del libro de texto LB12

5.5 Resultados del análisis de los libros de texto

A continuación presentamos los resultados del análisis en dos partes: en la primera parte describimos los resultados del análisis global que hicimos a partir de las tablas de frecuencia de las respuestas para cada pregunta y con esto hacemos una caracterización general de la muestra; y en la segunda parte describimos los resultados del análisis individual y una caracterización de los perfiles que construimos a partir de dichos resultados.

5.5.1 Resultados del análisis global

Siguiendo el orden de las cuestiones que configuran la plantilla, comenzaremos resaltando algunas ideas interesantes sobre la información que nos dan las tres primeras “preguntas”, a partir de las cuales buscamos elaborar las ‘visiones’ de elemento químico, continuaremos con ideas sobre la secuencia, sobre el posicionamiento ante la cuestión de los formatos, el carácter de la ley periódica y, finalmente, algunas consideraciones sobre las razones para enseñar la tabla periódica.

Discusión sobre la ‘visión’ de elemento (etiquetas, atributos y propiedades periódicas):

En primer lugar, se puede constatar que encontramos relativamente poca “presencia” de diversos ítems de los que proponemos en la plantilla para las dos primeras preguntas, la que se refiere a las etiquetas que se usan como sinónimo de *elemento* y la que se refiere a los atributos que los caracterizan (ver figuras 17 y 18 respectivamente); en cambio, hemos encontrado una basta presencia de los ítems que propusimos para la pregunta que se refiere a las propiedades periódicas. Es importante recordar que todas las etiquetas y los atributos que consideramos en el instrumento de análisis proceden de los artículos analizados y de una revisión general de libros de texto.

La poca pluralidad de términos para referirse a la entidad elemento químico, que se reduce básicamente al uso de la palabra *elemento* para todos los niveles, y al uso de la etiqueta *tipo de átomo* para el nivel atómico, es un hecho que puede favorecer la confusión de los principiantes debido a la polisemia del término. Aunque hay algunos textos que son

estrictamente cuidadosos usando términos como *sustancia elemental* o *átomos de los elementos* en las frases adecuadas, con frecuencia encontramos el uso indiscriminado de la palabra *elemento*.

También hay poca variabilidad en el uso de los atributos. Están ausentes especialmente los que le dan mayor carácter químico y carácter abstracto a las entidades elementales, como por ejemplo la *masa atómica*, o que el elemento *sobrevive al cambio químico*, o que es una *entidad abstracta*, o que *carece de propiedades macroscópicas*. Mayoritariamente encontramos el uso del *número atómico*, del *número de protones* y de la *posición en la tabla periódica*; y prevalece el uso realista de estos atributos porque, por ejemplo, el lugar en la tabla periódica siempre está explícitamente relacionado con el número de protones (vía el número atómico); pero no se suele dar importancia al número atómico como una característica ordinal de la tabla periódica que fue importante en la construcción del modelo atómico nuclear. Y la masa atómica, que se presenta como criterio ordenador al introducir la tabla periódica de masas, deja de serlo cuando se presenta el número atómico como criterio “correcto” o “actual”. La masa atómica generalmente se vuelve a recuperar algunas secciones después de tratar la tabla periódica, sin que quede claramente ligada con el relato (según como se haya presentado el concepto de mol), cuando se usan los datos de las casillas de los elementos para calcular masas moleculares en U. M. A’s. En cualquier caso, la masa atómica se usa más en ESO que en bachillerato como atributo del elemento químico y éste es uno de los primeros indicios que nos encontramos de lo que ya hemos ido reportando en secciones anteriores: que al pasar de ESO a bachillerato se pierde lo que había de químico en el átomo de los elementos para ganar lo que hay de físico en dicho átomo y, especialmente en el tratamiento de la tabla periódica, se desconecta el referente de interacción química de la periodicidad, concentrándose frecuentemente en la periodicidad de las características de los átomos de los elementos individualmente, es decir, su configuración electrónica y la interacción entre sus propias partículas.

En cuanto al uso de las propiedades periódicas se evidencia una mayor diversidad que en las etiquetas y los atributos, y en algunos libros encontramos todas las que están propuestas en la plantilla, incluso algunas más. Hemos visto que el uso de determinadas propiedades periódicas, y la interpretación a partir del diagrama bidimensional, nos ha proporcionado una información más nítida sobre la concepción de elemento que las otras dos preguntas anteriores. Algunas veces encontramos contradicciones entre lo que se puede interpretar de

los dos primeros diagramas y lo que se puede interpretar del tercero, pero al evaluar los otros aspectos del texto, consideramos que el de propiedades es el más indicativo de la visión de elemento que comunica el libro, porque es en el uso de dichas propiedades en donde se puede ver a cuál de los aspectos de los elementos se le da más importancia, y ello queda bien retratado en los cuadrantes del diagrama. Ahora bien, cuando se usan todas las propiedades que proponemos hay un efecto de saturación, y no podemos interpretar más allá de lo que hemos llamado “propiedades físicas y químicas en general”. Por lo tanto, en estos casos, no es posible determinar una visión de elemento definida.

Con respecto a las propiedades periódicas, también podemos constatar que es notorio el cambio entre ESO y bachillerato, porque cuanto mayor es el nivel académico, más pluralidad de propiedades se usan; aumentando, sobretudo, las más relacionadas con el átomo y la abstracción mecanicocuántica. Además, nos llama la atención que las propiedades de carácter más químico como *reactividad*, *capacidad de combinación química*, *fórmulas de los compuestos que forma* y *número de oxidación* están menos presentes, en general, que las físicas.

Discusión sobre las secuencias para introducir la tabla periódica:

En cuanto a las secuencias, hemos encontrado que es frecuente presentar la tabla periódica “moderna” o “actual” con el criterio de ordenación de números atómicos, inmediatamente después de la tabla periódica ordenada con la masa atómica. La retórica del relato frecuentemente plantea la de masas como un paso muy importante hacia la de números atómicos, pero con “errores” o “excepciones” o “incoherencias” que, como también se suele dar a entender, son comprensibles en el momento histórico de finales del siglo XIX por la falta de precisión en las medidas de masas atómicas y por el desconocimiento del átomo nuclear. Presentadas de esta manera, las dos tablas cumplen una función didáctica unificada, que en algunos casos sirve de tránsito entre niveles epistemológicos diferentes para trasladar el discurso desde la simbología al realismo o viceversa, como veremos más adelante en los resultados de la interpretación individual de los libros. Algunas veces, sin embargo, las dos tablas cumplen funciones didácticas diferentes, que también describiremos más adelante, cuando ambas se usan para transitar entre la abstracción y el realismo, pero una al nivel macro y la otra al nivel micro.

Otra regularidad que encontramos en las secuencias es que la tabla periódica es presentada en los capítulos dedicados a estudiar la estructura interna de la materia, lo cual es coherente con el tránsito entre niveles epistemológicos que mencionábamos antes. Generalmente se tratan los modelos atómicos antes de presentar cualquiera de las dos tablas (en algunos casos, como hemos visto, sólo se plantea la de números atómicos), y el orden suele ser cronológico en la secuencia de los modelos, es decir, se habla de Dalton, de Rutherford, de Bohr y del modelo actual o mecanocuántico. Este último modelo atómico está más presente en los libros de bachillerato que en los de ESO.

Las propiedades periódicas macroscópicas se suelen tratar después de las dos tablas periódicas, reforzando así una retórica que enseña estas propiedades como una confirmación de la periodicidad, más que como una observación que condujo a la clasificación de las sustancias elementales y a la formulación de la ley periódica. Encontramos pocos casos en los que se proponen actividades de observación experimental de propiedades (y a veces son de imaginación o de evocación) antes de plantear el enunciado de la ley periódica, o de invitar al lector a seguir un procedimiento similar al de Mendeleiev, mediante el uso de tarjetas que contienen las propiedades de los elementos.

Especialmente en las secuencias de los libros de bachillerato encontramos que se suelen plantear más las propiedades periódicas de los átomos que las de las sustancias macroscópicas, y esto se suele llevar a cabo mediante retóricas reduccionistas, en las que la configuración electrónica es la propiedad que obtiene el protagonismo exclusivo en la periodicidad, y que parecen “demostrar” la exactitud de la ley periódica y la universalidad del formato de tabla periódica tradicional. En estas retóricas reduccionistas también juega un papel importante la posterior explicación de las variaciones de las propiedades atómicas, especialmente el radio y la energía de ionización, mediante los principios electrostáticos y la ley de Coulomb; y se descuida el retorno a las propiedades químicas macroscópicas para cerrar el ciclo que sí encontramos en algunos textos, mediante la relación entre éstas y las estructuras internas. En bachillerato se suele completar este ciclo en capítulos posteriores, dedicados a los tipos de enlace, a los tipos de estructuras internas de las sustancias que determinan dichos enlaces y a la relación de éstas con las propiedades macroscópicas observables, pero ya queda desconectado de la tabla periódica que, en dichos capítulos, funciona como fuente de información, concretamente para consultar la electronegatividad

(definida en términos atómicos) como criterio para identificar el tipo de enlace y con ello el tipo de estructura y las propiedades macroscópicas que presenta.

Aunque en ESO encontramos que esta relación está más presente, al menos por la cercanía de las páginas que tratan los dos temas (tabla periódica y estructuras internas), no acaba de ser explícita y esto hace que la tabla periódica, en general, funcione como un sistema de clasificación de entidades según sus características individuales, como un catálogo, más que como un sistema de clasificación de entidades que interaccionan y, en el cual, la misma interacción ayuda a construir los criterios de clasificación y mantener el legado químico de la tabla periódica.

Discusión sobre la cuestión del formato:

En cuanto a los aspectos del formato, encontramos una unanimidad considerable. La retórica más frecuente presenta la tabla periódica (con el formato IUPAC (2013)) como “la” moderna, “la” actual, y en algunos casos (pocos) “la” más utilizada; pero incluso en estos casos, no se menciona ni siquiera que este formato se usa mayoritariamente por convención y que la cuestión del formato no está zanjada; cuestión que, como se muestra en el análisis de los artículos, también presenta debate entre los que buscan zanzarlo y los que piensan que tal propósito no tiene sentido, o que lo que no tiene sentido es llevarlo a las aulas por la confusión que puede generar. En algunos casos se presentan otros formatos (en dos libros encontramos incluso imágenes de formatos tridimensionales) pero éstos se resaltan como una curiosidad, no como posibilidades alternativas de facilitar la visualización de relaciones que son menos evidentes en las tablas tradicionales, o como formas de interpelar dichas relaciones para encontrar otras nuevas, o como una herramienta para acompañar el proceso de modelación de la materia y de las interacciones entre sustancias.

Además de la unanimidad en el uso de un único formato, también encontramos unanimidad en que se señalan solamente las relaciones entre los elementos que están localizados en un grupo o columna de la tabla periódica y las relaciones entre los elementos que están localizados en las zonas que se suelen denominar “bloques”, caracterizadas ya sea por la configuración electrónica (bloques s, p, d, f) o por la caracterización más abstracta llamada “tipos de elementos”, es decir, metales, semimetales y no metales; o más concretamente, como metales de transición, metales de transición interna, elementos

representativos, etc., que en algunos casos incluye grupos concretos como los gases nobles, los metales alcalinos y los metales alcalinotérreos. En ningún caso se muestran otras relaciones más flexibles respecto a la localización en la tabla periódica, como las relaciones diagonales, o las denominadas “movimiento de caballo de ajedrez”, etc. Consideramos que una mención de estas otras relaciones, aunque sea breve, también podría contrarrestar el carácter monolítico de la tabla periódica que solemos enseñar para resaltar su “buen funcionamiento”.

Discusión sobre el estatus epistemológico y aportaciones de la ley periódica:

En cuanto a la ley periódica y su enunciado, hay una tendencia a considerar la formulación de Mendeleiev como un logro muy importante en su momento (con errores, como decíamos) y después corregirla con la nueva formulación, después del hito de Moseley, de forma coherente con la retórica que describíamos que presentación de las dos tablas periódicas con la misma función didáctica.

A la ley de Mendeleiev se le suele dar importancia como una ley exitosamente predictiva, especialmente al compararla con el trabajo de Meyer que, según el relato frecuente, no hizo predicciones. También se le suele dar importancia al hecho de haber servido para atender a la necesidad de clasificar u ordenar la gran cantidad de elementos que se estaban descubriendo, con una frecuencia cada vez mayor, debida a las técnicas desarrolladas en el siglo XIX, que favorecía el correspondiente aislamiento de las sustancias elementales. No se suelen mencionar otros aspectos importantes como la sistematización que aportó al conocimiento químico en conjunto, o el estímulo que causó para estudiar las estructuras internas en busca de explicaciones profundas de la periodicidad, o el carácter didáctico que la originó y que la sigue manteniendo en los libros de texto.

A la ley formulada en términos de números atómicos se le da la importancia y el papel de haber solucionado las “imprecisiones”, o “contradicciones”, o “inconsistencias”, etc., de la ley formulada por Mendeleiev, lo cual parece convertirla en una ley exacta que, como decíamos antes, se acaba comprobando con la configuración electrónica y su correlación con la localización exacta en la tabla periódica como cuadrícula cartesiana de filas y columnas. Esta exactitud que sugiere la retórica más frecuente parece resaltar la

importancia de la ley periódica usando los mismos criterios con los que se evalúan las leyes de la física, es decir, desde el enfoque normativo.

Discusión sobre las razones para enseñar la tabla periódica:

Finalmente, notamos la ausencia de razones explícitas sobre la importancia de aprender lo que se explica en cada libro sobre la tabla periódica. La idea más frecuente es que se trata de una herramienta didáctica que ayuda a recordar información o, al menos, a tenerla disponible de manera ordenada, precisamente porque se trata de una clasificación y porque nos muestra las semejanzas entre los elementos. Con relativa frecuencia se muestra la importancia que tiene para predecir fórmulas químicas. Y pocas veces se hace alusión al carácter explicativo y conector entre la estructura interna y las propiedades observables macroscópicas; y cuando se hace, es más frecuente que las referencias a la estructura interna se focalicen en los átomos más que en la “arquitectura que subyace”.

5.5.2 Resultados del análisis individual

Los perfiles que describimos en la sección 5.4 de este capítulo son las diversas combinaciones de los aspectos que buscamos en el relato de cada libro de texto. Aunque encontramos casi tantos perfiles como libros, hay algunas regularidades interesantes, algunas de las cuales ya describimos en los resultados anteriores, y otras que describiremos a continuación. Estas regularidades nos permiten agrupar de manera significativa los perfiles que hemos identificado.

En primer lugar, queremos resaltar que a pesar de la diversidad, podemos clasificar las secuencias en dos grupos: las secuencias en las que las tablas periódicas se abordan desde conceptos abstractos y las secuencias en las que las tablas periódicas se abordan desde conceptos realistas.

En el primer grupo, como se puede ver en la tabla siguiente (tabla 49), encontramos tres tipos de secuencias: aquellas en las que las tablas periódicas se abordan desde lo micro/abstracto para transitar a lo macro/realista, aquellas en las que las tablas periódicas se abordan desde lo micro/abstracto para transitar a lo micro/realista y, una sola secuencia, que las aborda desde lo macro/abstracto para transitar a lo macro/realista.

En el segundo grupo, en el que las tres secuencias abordan las tablas periódicas desde los conceptos realistas, encontramos de dos tipos: dos secuencias que usan las dos tabla por separado y una secuencia que las usa juntas. Las secuencias que presentan las dos tablas periódicas por separado, aprovechan esto para sacar más “jugo” didáctico a la periodicidad, porque hacen dos transiciones diferentes con cada una de las dos tablas: La primera transición se hace en el mundo macroscópico: se pasa del fenómeno observado de las propiedades físicas y químicas al fenómeno abstracto (idealizado) de la periodicidad de éstas. La segunda transición se hace en el mundo micro de los átomos, pasando del átomo imaginado que explica la periodicidad hacia el átomo real que usan los físicos. A partir de aquí, uno de los dos libros se queda en este nivel y el otro vuelve a lo macroscópico para cerrar el ciclo que mencionábamos antes.

Esta doble transición es más cercana que las otras al enfoque modelizador que caracteriza la química escolar que configura nuestro marco teórico; y, aunque no conocemos resultados de investigaciones que indiquen que es más efectiva didácticamente hablando, al menos es más cercana al camino intelectual seguido por los químicos en las décadas finales del siglo XIX e iniciales del siglo XX, durante la época en que el sistema periódico fue una de las herramientas más importantes en la construcción y evolución de los modelos atómicos.

Secuencias que abordan las tablas periódicas desde los aspectos abstractos	La TP se usa para relacionar entidades micro con entidades macro	Sólo se usa la tabla periódica de números atómicos	
	La TP se usa para relacionar entidades micro con entidades macro	Se usan las dos tablas periódicas como un conjunto	
	La TP se usa para relacionar entidades micro con entidades micro (todas cambian de abstracto a	Sólo se usa la tabla periódica de números atómicos	
	La TP se usa para relacionar entidades micro con entidades micro (todas cambian de abstracto a	Se usan las dos tablas periódicas como un conjunto	

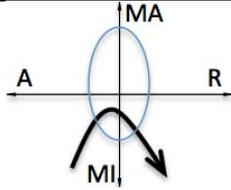
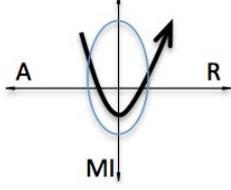
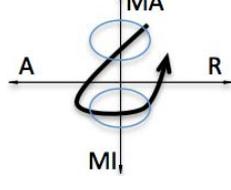
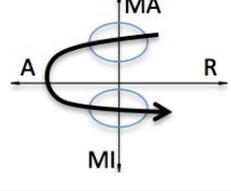
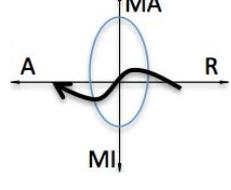
	realista)		
	La TP se usa para relacionar entidades macro con entidades macro (usando los átomos)		
Desde aspectos realistas	Usa las dos TP por separado		
			
	Usa las dos TP en conjunto		

Tabla 50. Diagramas condensados de las secuencias en los libros de texto según la forma de abordar la tabla periódica

Para seleccionar algunos perfiles característicos comparamos las diversas combinaciones que han resultado entre lo que hemos llamado “caracterización”, que reúne las dos primeras preguntas (sobre las etiquetas y los atributos), y lo que hemos llamado “propiedades periódicas”, para elegir las que tengan mayor consistencia. Descartamos previamente los perfiles que están caracterizados en este aspecto como “propiedades físicas y químicas en general” porque, como lo hemos dicho antes, al usar todas las propiedades que proponemos en la plantilla no muestra particularidades que nos ayuden a caracterizar el perfil, sino más bien una ambigüedad de criterio sobre la visión de elemento.

Las combinaciones que hemos obtenido son las que mostramos a continuación. Por ejemplo, los libros cuya “caracterización” de elemento señalamos como “Átomo físico y químico” son 3: LE1, LB1 y LB5, como se muestra en la tabla siguiente, pero dos de ellos (LB1 y LB5) están caracterizados en la casilla de “periodicidad” con “Propiedades físicas y químicas en general”, mientras que LE1, está caracterizado en esta casilla con “Propiedades

macroscópicas” y, por lo tanto, consideramos que LE1 comunica una ‘visión’ de elemento coherente con una concepción que cobija los dos niveles epistemológicos, el átomo químico y el átomo físico. A partir de cada una de las otras caracterizaciones (abstracto, átomo físico, átomo de la mecánica cuántica y átomo químico) seguimos un razonamiento similar para escoger el tipo de “periodicidad” más coherente con cada una de ellas.

Átomo físico y químico	<i>Propiedades químicas macroscópicas LE1</i>
	Propiedades físicas y químicas en general LB1, LB5

Abstracto	Propiedades del átomo de la mecánica cuántica LE2
	<i>Tipos de elementos LE3, LB6</i>
	Propiedades químicas en general LE4
	Propiedades físicas macro LE5

Átomo físico	Propiedades físicas y químicas en general LE6, LB4
	Propiedades físicas y químicas macro LB2
	<i>Propiedades físicas del átomo LB3</i>

Átomo de la mecánica cuántica	Propiedades físicas y químicas en general, LB8
	<i>Propiedades del átomo mecánico cuántico, LB11, LB12</i>
	Propiedades físicas del átomo, LB7, LB10

Átomo químico	<i>Propiedades físicas y químicas macro, LB9</i>
----------------------	--

A partir de estas consideraciones podemos atrevernos a proponer los “relatos” que marcan diferencias entre los significados que los diferentes libros analizados atribuyen a la Tabla Periódica. Utilizamos las 5 “caracterizaciones” anteriores con la correspondiente “periodicidad” que señalamos con color gris en las celdas de la derecha y donde se puede apreciar, también, a cuales libros de texto corresponden. A continuación presentamos los 5 “relatos” que hemos construido.

Relato 1. El elemento como átomo físico y químico

Las partículas que constituyen cada elemento están formadas por un solo tipo de átomos que han sido representados por diversos modelos. Se usa el modelo de capas, cuyos electrones externos son los responsables de las propiedades químicas. La experimentación muestra semejanzas entre elementos y ello permite generar un sistema de clasificación, útil para hacer predicciones de interacción química y de propiedades. La TP moderna resume el trabajo de muchas personas; quien más aportó fue Mendeleiev que organizó los elementos por masa atómica, hizo predicciones exitosas y formuló la ley periódica, que no se podía explicar. Sólo se pudo explicar cuando Moseley propuso el nuevo criterio. Los elementos también se clasifican en metales, no metales y metaloides, según sus propiedades macroscópicas físicas y químicas. Las similitudes se pueden explicar porque los átomos de los elementos que componen una misma familia tienen el mismo número de electrones externos que se incrementan, de uno en uno, de izquierda a derecha a través de cada período, en el que los átomos tienen igual cantidad de electrones internos.

Relato 2. El elemento como átomo abstracto

Las sustancias elementales y las sustancias compuestas se han representado a lo largo de la historia mediante sistemas de nomenclatura, según sus características. Los símbolos químicos se usan para representar un átomo de cada sustancia elemental o una muestra macroscópica de ella, formada por átomos del mismo tipo. La diferencia principal entre dos átomos de distintos elementos es el número atómico, que representa el número de protones en su núcleo y un lugar en la TP, que es una manera de clasificar las sustancias elementales o los átomos que las forman. La TP está dividida en zonas según los diferentes tipos de elementos: metales y no metales, que a su vez se dividen en otros grupos como metales alcalinos, gases nobles, etc. Mendeleiev formuló la ley periódica y colocó los elementos en orden creciente de masa atómica pero años después, Moseley los colocó en orden creciente de número atómico, tal como están ordenados en la TP actual.

Relato 3. Elementos como átomo físico

La materia está formada por átomos, representados por medio de modelos que intentan explicar su estructura. El modelo actual es el de la mecánica cuántica, que presenta los electrones distribuidos en niveles, subniveles y orbitales. Para estudiar las características de los átomos y describir sus propiedades, se puede usar el ordenamiento actual de los

elementos: la TP. En el siglo XIX se hizo necesario clasificar los elementos. Algunos científicos lo intentaron, pero sólo tuvieron éxito Mendeleiev (ruso) y Meyer (alemán). El ruso hizo predicciones exitosas y formuló la ley periódica ordenándolos por masa atómica. Esta ordenación tenía defectos que fueron subsanados cuando se cambió de criterio de ordenación, a número atómico, con los trabajos de Moseley. A partir de esta idea surge el Sistema Periódico actual. Las propiedades físicas y químicas, así como la posición en la tabla periódica, dependen de la configuración electrónica. La energía de ionización, la afinidad electrónica, la electronegatividad y el tamaño de los átomos, varían de manera periódica y esto se puede explicar por las fuerzas de Coulomb entre protones y electrones.

Relato 4. EL átomo de la mecánica cuántica

Es prácticamente igual al anterior pero haciendo énfasis en las ecuaciones matemáticas del modelo y las formas de los orbitales, así como las diferentes reglas para construir la configuración electrónica en cada uno de los bloques s, p, d, f.

Relato 5. Átomo químico

A medida que se han ido descubriendo múltiples sustancias simples, los químicos los han ido clasificando. Primero en metales y no metales, después en grupos más pequeños. En 1850 aumentaron los intentos de clasificación. Algunas clasificaciones no se consideraron seriamente, hasta que Mendeleiev propuso su tabla, con una característica muy importante: espacios vacíos que se convirtieron en predicciones exitosas. Basándose en ella formuló la ley periódica, que resumía las propiedades de los elementos y mostraba sus semejanzas pero tenía anomalías. En esa época se usaba el modelo de Dalton para explicar los cambios químicos, pero una serie de descubrimientos, entre ellos la periodicidad, sugirieron una posible estructura interna del átomo. Se formuló el modelo de Thomson, el de Rutherford, y Moseley mostró que ordenar los elementos con el número atómico (correspondiente al número de protones) resolvían las anomalías de la TP. En la tabla actual, se puede ver la variación periódica de propiedades como el carácter metálico, la estructura interna, la reactividad química y la valencia. Cada grupo de elementos tiene propiedades macroscópicas comunes porque comparten el número de electrones externos, y de éstos dependen la interacción química.

Aunque en cada uno de los “relatos” anteriores podemos encontrar matices que refuerzan diferentes maneras de usar la tabla periódica, también podemos encontrar un relato de fondo que es común en la mayoría de libros de texto, alrededor de la tabla periódica. El relato es el siguiente:

La gran cantidad de elementos descubiertos en el siglo XIX llevó a la necesidad de clasificarlos. Hubo diversos intentos pero fue Mendeleiev quien pudo hacerlo mejor porque formulo la ley periódica y con ella hizo predicciones verdaderas. Pero esta clasificación tenía inconsistencias porque los elementos estaban ordenados según las masas atómicas. Ahora sabemos, por el descubrimiento de Moseley, que los elementos quedan ordenados correctamente según el número atómico, que es el número de protones e identifica a cada elemento. Si sabemos la configuración electrónica de un elemento podemos saber su posición exacta en la TP y viceversa. Las propiedades de los átomos varían de manera periódica y esto se puede explicar usando las fuerzas eléctricas entre los protones y los electrones.

Capítulo 6

Análisis e interpretación de las encuestas

Este capítulo está estructurado en cuatro partes. En la primera parte hacemos un breve comentario sobre el grupo de profesores que respondió la encuesta. En la segunda parte presentamos una interpretación conjunta de las respuestas obtenidas a todas las preguntas de la encuesta y describimos las tendencias más interesantes. En la tercera parte presentamos la interpretación de los gráficos y de las categorías obtenidas de cada encuesta a partir de las redes sistémicas, y elaboramos un perfil de cada encuesta teniendo en cuenta dichas interpretaciones. Finalmente, en la cuarta parte, presentamos los resultados del análisis realizado en las secciones anteriores, tal como lo hicimos con los libros de texto en el capítulo 5.

6.1 Grupo de profesores que respondió la encuesta

Hicimos llegar la encuesta a diversos colectivos de profesores de ciencias de ESO y bachillerato de Catalunya; pero no obtuvimos una respuesta satisfactoria en cuanto a la cantidad de encuestas contestadas, a pesar de la gran ayuda y excelente disposición de las personas que nos ayudaron a distribuirlas. Finalmente, sólo logramos obtener 10 encuestas de uno de los colectivos entre los que se distribuyó: un grupo de profesores de ciencias experimentales de secundaria y bachillerato que asistían a las jornadas de l'Escola d'estiu del Col·legi Oficial de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres i en Ciències de Catalunya de 2015.

Posteriormente, logramos obtener otras 3 encuestas de profesores de química de bachillerato de la ciudad de Manizales (Colombia).

En definitiva, contamos con una muestra de 13 encuestas resueltas, que es una cantidad pequeña en comparación con las expectativas que teníamos. Esta cantidad evidentemente es una de las debilidades de esta investigación. A pesar de esto, como veremos más adelante en algunas comparaciones con el análisis de los libros de texto, la muestra nos parece válida para caracterizar algunos perfiles alrededor de las funciones que atribuyen los profesores a tabla periódica.

6.2 Interpretación global de las respuestas para cada pregunta de la encuesta

A continuación presentamos, para cada pregunta, la tabla de frecuencias que construimos con las respuestas obtenidas, el gráfico mediante el cual las interpretamos y la interpretación correspondiente. Los datos específicos, con las valoraciones de todos los ítems para cada encuesta, están en el anexo 2.

Las tablas de frecuencias que presentamos, al igual que las que usamos en el capítulo 5, muestran una primera columna con los ítems propuestos en la pregunta y dos grupos de columnas con las frecuencias de cada una de las valoraciones a cada ítem, como indica el encabezado; un grupo de columnas contiene las valoraciones para ESO y el otro para bachillerato. Las frecuencias que están en la primera columna, debajo de la valoración 0, tanto de ESO como de bachillerato, indican el número de personas que no valoraron el ítem en cuestión; las frecuencias que están en la segunda columna debajo de la valoración 1 indican la cantidad de personas, de ESO o de Bachillerato según el caso, que valoraron con un 1 el ítem en cuestión; y así sucesivamente. Entre las personas que no contestaron algún ítem, o algunos ítems, encontramos dos casos: las que no valoraron ningún ítem de la pregunta, y las que calificaron alguno o algunos ítems de la pregunta dejando los demás en blanco. Esta diferencia la tendremos en cuenta en el análisis particular; mientras tanto, en este análisis global, todos los ceros los consideramos con el mismo estatus: “no valorados”.

Para facilitar la lectura de estas tablas hemos utilizado las siguientes tramas: marcamos con color verde las casillas de las frecuencias que indican una tendencia mayoritaria de valoraciones positivas, es decir, de “pertinencia” o “necesidad” (3 ó 4) para el ítem en cuestión; marcamos con rojo las casillas de las frecuencias que indican una tendencia mayoritaria de valoraciones negativas, es decir, “poco adecuado” o “no adecuado” (1 ó 2) para el ítem en cuestión; y marcamos con color naranja las casillas de las frecuencias que indican, para el ítem en cuestión, que no hay una tendencia clara en ninguno de los sentidos anteriores, tal como lo señalamos en las tablas de frecuencia para los libros de texto, presentadas en el capítulo 5. Con los colores intensos (verde, rojo o naranja), señalamos los valores que nos parece importante resaltar por algún motivo, generalmente por ser valores altos en relación con los demás.

6.2.1 Primera pregunta: etiquetas para referirse a los elementos químicos

Qualifiquen d'1 a 4 les següents "etiquetes" que es fan servir per anomenar l'entitat element químic, segons la pertinència de fer-les servir en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).

Etiquetas para "elemento químico"	ESO					Bachillerato				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Sustancia simple (SS)	2	0	1	7	3	2	0	4	1	6
Sustancia básica (SB)	3	5	2	1	2	3	5	0	2	3
Clase, tipo o especie de núcleo (TN)	4	6	3	0	0	2	6	2	1	2
Clase, tipo o especie de átomo (TA)	4	1	2	6	0	2	1	1	3	6
Bloque fundamental de la materia (BF)	3	2	3	3	2	3	2	6	1	1
Sustancia elemental (SE)	3	2	3	2	3	3	1	4	2	3
Entidad abstracta (EA)	4	6	3	0	0	2	7	2	1	1
Elemento (EL)	2	0	2	2	7	2	0	1	2	8
Sustancia pura (SP)	2	0	3	2	6	2	2	0	2	7
Otra...	13	0	0	0	0	13	0	0	0	0

Tabla 51. Etiquetas usadas por profesores para referirse a los elementos químicos

Si dirigimos la atención sobre el primer ítem notamos que la mayoría de las personas, tanto en ESO como en bachillerato, contestó que es necesario o pertinente usar la etiqueta *sustancia simple* para referirse a *elemento químico*. Aunque en los dos niveles educativos encontramos una tendencia “positiva”, con el verde intenso resaltamos que el caso es diferente en ESO y en bachillerato, porque en ESO hay una mayoría significativa que lo considera pertinente y en bachillerato hay una mayoría que lo considera necesario

Si ahora dirigimos la atención a la segunda etiqueta (*sustancia básica*), encontramos que en ESO hay una mayoría significativa que considera que usarla es poco adecuado o que no es adecuado; de estas 7 personas que lo valoran negativamente, 5 opinan que no es adecuado y 2 que es poco adecuado. Las respuestas sobre este mismo ítem (SB) presentan una tendencia diferente en bachillerato, y esto nos sirve para ejemplificar el uso del color naranja. Como se puede ver, las opiniones sobre la pertinencia de usar la etiqueta *sustancia básica* en bachillerato están más divididas que en ESO y esto lo representamos con el color naranja, extendido por toda la franja de las cuatro calificaciones. Aunque no hay una tendencia clara en este ítem, lo que resaltamos con el naranja intenso es que hay una mayor cantidad de personas (cinco en este caso) que consideran que no es adecuado usar la etiqueta en bachillerato.

De la misma manera, podemos ver que las otras tendencias positivas que aparecen, y que corresponden a las etiquetas *clase, tipo o especie de átomo, elemento* y *sustancia pura*, lo hacen en ESO y en bachillerato; pero en el caso de *clase, tipo o especie de átomo*, la tendencia mayoritaria cambia de ESO a bachillerato,

volviéndose más “necesaria”, calificativo que ninguna de las personas le coloca a la misma etiqueta en ESO. Las otras dos tendencias positivas, para *elemento* y *sustancia pura*, se mantienen más o menos iguales; pero es llamativo que tres personas (2 en ESO y una en bachillerato) consideran que es poco adecuado usar la etiqueta *elemento* para referirse a esta entidad.

Encontramos dos tendencias negativas que se mantienen tanto en ESO como en bachillerato, y que mantienen la misma distribución de las mayorías; éstas corresponden a las etiquetas *clase, tipo o especie de núcleo y entidad abstracta*. Por otras parte, las etiquetas *sustancia básica* y *bloque fundamental de la materia* cambian de tendencia de la siguiente manera: la primera, como ya lo habíamos visto, pasa de ser negativa a neutra, y la segunda pasa de ser neutra a negativa.

Solamente hay una tendencia que se mantiene neutra en los dos niveles: la que se refiere a la etiqueta *sustancia elemental*; sin embargo, en bachillerato hay cuatro personas que consideran que es poco adecuado usarla.

Para interpretar estas tendencias de manera global, y comparar entre los niveles de ESO y bachillerato, planteamos el esquema que ya explicamos en el capítulo 4 y aquí lo usamos de la siguiente manera: construimos el esquema para ESO, en el que se puede ver que las etiquetas *sustancia pura, elemento* y *sustancia simple* tienen tendencias positivas, que las etiquetas *entidad abstracta, sustancia básica* y *clase, tipo o especie de núcleo* tienen tendencias negativas y que las etiquetas *sustancia elemental* y *bloque fundamental de la materia* tienen tendencias neutras porque hay más división de opiniones, como se puede ver también en la tabla de frecuencias. El esquema bidimensional epistemológico/ontológico queda de la siguiente manera:

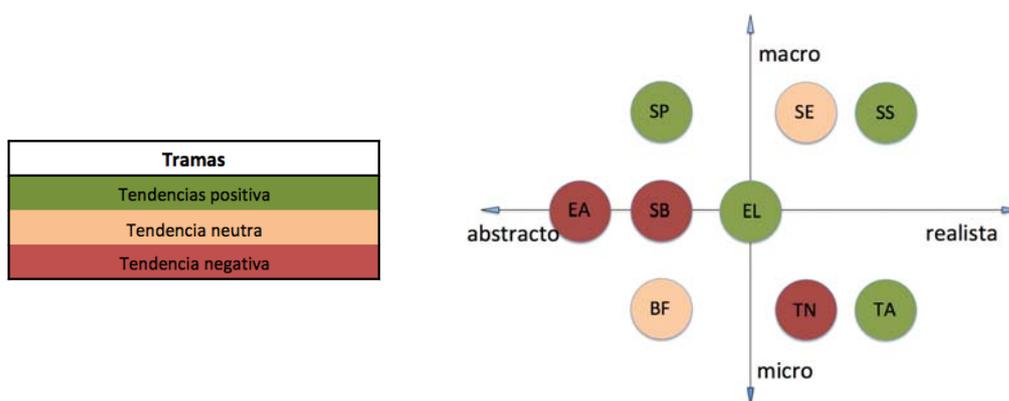


Figura 43. Tendencias en el uso de etiquetas de "elemento químico" con alumnos de ESO

Después construimos el mismo esquema para bachillerato, que se muestra a continuación, en el que se ve que las etiquetas *sustancia pura*, *elemento*, *clase*, *tipo o especie de átomo* y *sustancia simple* tienen tendencias positivas, que las etiquetas *entidad abstracta*, *bloque fundamental de la materia* y *clase, tipo o especie de núcleo*, tienen tendencias negativas y que las etiquetas *sustancia elemental* y *sustancia básica* tienen tendencias neutras.

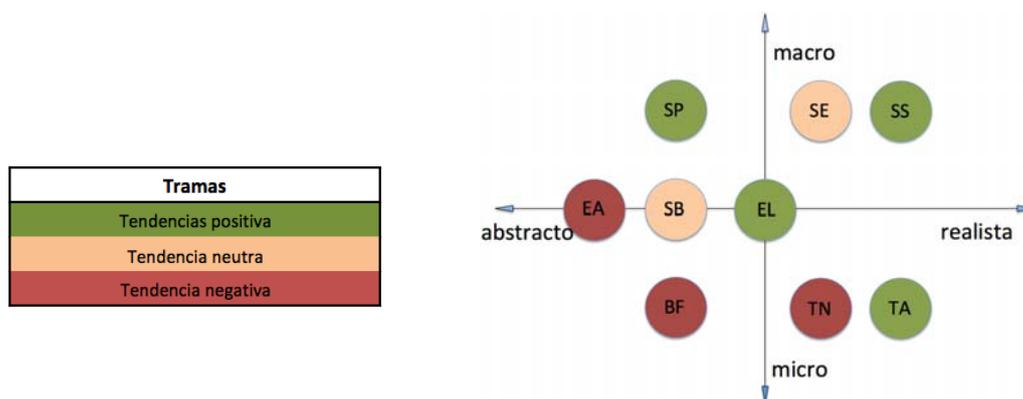


Figura 44. Tendencias en el uso de etiquetas de "elemento químico" con alumnos de bachillerato

Posteriormente, para facilitar la interpretación y comparación de las tendencias entre los dos niveles educativos, juntamos los dos es esquemas en uno, de la siguiente manera:

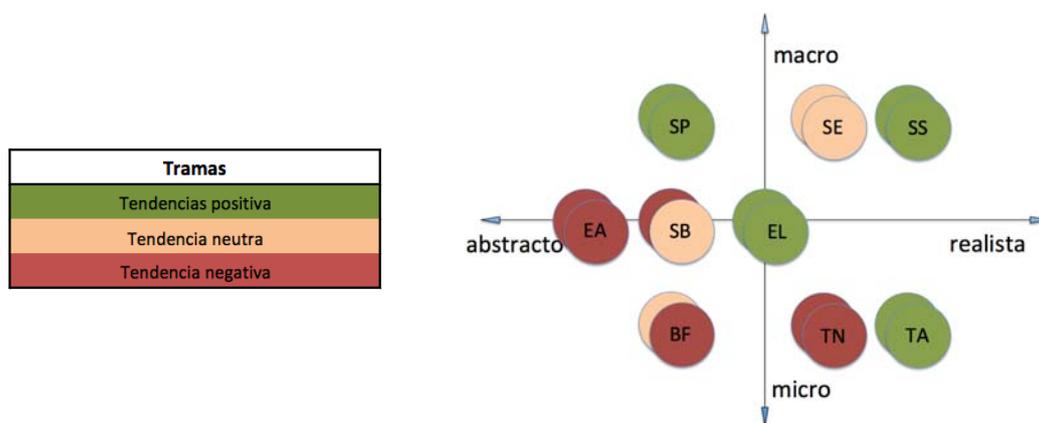


Figura 45. Tendencias en el uso de etiquetas de "elemento químico" con alumnos de ESO y bachillerato

En general, podemos ver un consenso relativo en que no es conveniente usar las etiquetas de carácter más abstracto y micro, *entidad abstracta*, *sustancia básica* y *bloque fundamental de la materia*. La tendencia positiva de la etiqueta *sustancia pura* es la única entre las abstractas que mantiene el consenso en los dos niveles; como decíamos en el análisis de los libros de texto, ésta se suele usar cuando se hace la diferencia conceptual entre sustancias puras y mezclas. Si a esto le agregamos que hay una tendencia positiva en la valoración de *sustancia simple*, e incluso que hay división de opiniones en cuanto a *sustancia*

elemental, podemos decir que el esquema representa el carácter macroscópico de las entidades elementales como característica general de la muestra analizada. Ahora bien, el carácter de átomo (o micro, como le hemos llamado por comodidad) también está representado con la etiqueta *clase, tipo o especie de átomo*, que, como vimos en el capítulo 5, es una de las más comúnmente utilizadas en los libros de texto.

Con estas ideas podemos decir que en el conjunto de encuestas analizadas se ve una tendencia similar a la de los libros de texto en cuanto al uso de la etiqueta *clase, especie o tipo de átomo* y en cuanto a la ausencia de las etiquetas más abstractas como *entidad abstracta* y *sustancia básica*. Los profesores encuestados y los libros de texto analizados no le dan gran relevancia, al menos en las palabras que usan para referirse al elemento químico, al carácter abstracto o simbólico que tiene dicho concepto y que, entre otras cosas, ayuda a conectar los niveles atómico y macroscópico de las sustancias.

El diagrama también nos permite ver el cambio de un nivel a otro, que en este caso no es drástico porque sólo cambian dos etiquetas (*sustancia básica* y *bloque fundamental de la materia*), y lo hacen entre rojo y naranja (y viceversa), es decir, entre tendencia negativa y tendencia neutra (y viceversa). En la tabla de frecuencias podemos ver, también, que dentro de las tendencias positivas hay dos cambios interesantes en las etiquetas *sustancia simple* (SS) y *clase, especie o tipo de átomo* (TA), es decir, que la tendencia cambia de ser pertinente en ESO a ser necesaria en bachillerato; si comparamos con lo que es más habitual en los libros de texto, es más frecuente lo que ocurre con la etiqueta TA, es decir, que se usa más en bachillerato que en ESO (de hecho, en la muestra que analizamos, sólo un libro de ESO usa la etiqueta TA explícitamente); en cambio, lo que sucede con SS es diferente, del total de libros analizados, sólo 2 la usan de manera explícita.

También es importante resaltar que hay algunos caso particulares marcadamente diferentes respecto a las tendencias generales de la muestra, como por ejemplo las dos personas que consideran necesaria la etiqueta *clase, especie o tipo de núcleo* en bachillerato, mientras 6 personas la consideran inadecuada y 2 personas poco adecuada; o el caso de una persona que considera necesaria la etiqueta *entidad abstracta* (otra persona la considera conveniente) mientras que 9 no opinan lo mismo: para 7 personas no es conveniente usarla y para 2 es poco conveniente. Estas particularidades tendrán más importancia en el análisis individual y nos ayudaran a caracterizar los diferentes perfiles.

Es interesante describir lo que pasa con las etiquetas *clase, especie o tipo de átomo* y *sustancia simple*, que son representantes de la zona realista/micro y realista/macro del diagrama, respectivamente, y que

muestran tendencia positiva. Al mirar la tabla de frecuencias se puede notar que en los dos casos hay una tendencia a aumentar la valoración cuando se pasa de ESO a bachillerato. La etiqueta *sustancia simple* pasa de 7 valoraciones con 3 (y 3 valoraciones con 4) a obtener una valoración con 3 y 6 valoraciones con 4. Visto así, las tendencias nos indican que la mayoría de las personas prefieren usar *sustancia simple* en bachillerato que en ESO. Lo mismo sucede con *clase, especie o tipo de átomo*, que pasa de 6 valoraciones con 3 (y ninguna con 4) a obtener 6 valoraciones con 4, de las 9 positivas que obtiene. Pero si miramos caso a caso, en las respuestas en que se puede ver algún cambio de las dos etiquetas, encontramos que *sustancia simple* (SS) cambia de 3 a 4 en tres encuestas, se queda igual en otras tres y cambia de 4 a 3 en otras tres encuestas; mientras que la etiqueta *clase, especie o tipo de átomo* (TA) pasa de 3 a 4 en 6 ocasiones, se queda igual en 2 y no disminuye en ninguna. Este análisis del cambio individual nos muestra que la etiqueta TA realmente se prefiere usar en bachillerato que en ESO.

Toda la información extraída de esta manera, e interpretada como lo hemos explicado para la primera pregunta sobre las etiquetas, usando el esquema de dos dimensiones que hemos construido, nos da información para considerar que el uso de las etiquetas que expresan las personas de la muestra comunica una visión de elemento que se caracteriza por resaltar los dos niveles, micro y macro, de manera clara y nítida pero que deja desdibujado el aspecto abstracto del elemento. Además, interpretamos que no hay un cambio significativo en el uso de las etiquetas al pasar del nivel de la ESO a secundaria.

6.2.2 Segunda pregunta: atributos de los elementos químicos

Qualifiquen d'1 a 4 els següents atributs dels elements químics, segons la pertinència de fer-los servir en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).

Atributos de los elementos químicos	ESO					Bachillerato				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
No se puede descomponer por medios químicos (NOD)	4	1	2	2	4	3	0	2	2	6
Sobrevive sobrevive al cambio químico (SCQ)	4	1	3	2	3	3	0	4	2	4
Se caracteriza por el número atómico (NAT)	3	1	0	4	5	2	0	0	1	10
Se caracteriza por su lugar en la TP (LTP)	4	0	1	6	2	3	0	0	5	5
Se caracteriza por el número de protones (NPR)	3	1	0	2	7	2	0	0	2	9
Carece de propiedades macroscópicas (CPM)	4	2	7	0	0	3	1	4	5	0
Se caracteriza por la masa atómica (MAT)	4	4	1	3	1	3	3	1	2	4
Se caracteriza por la carga nuclear (CNU)	4	1	2	4	2	3	0	2	2	6
Otra...	13	0	0	0	0	13	0	0	0	0

Tabla 52. Pertinencia del uso de atributos de los elementos químicos

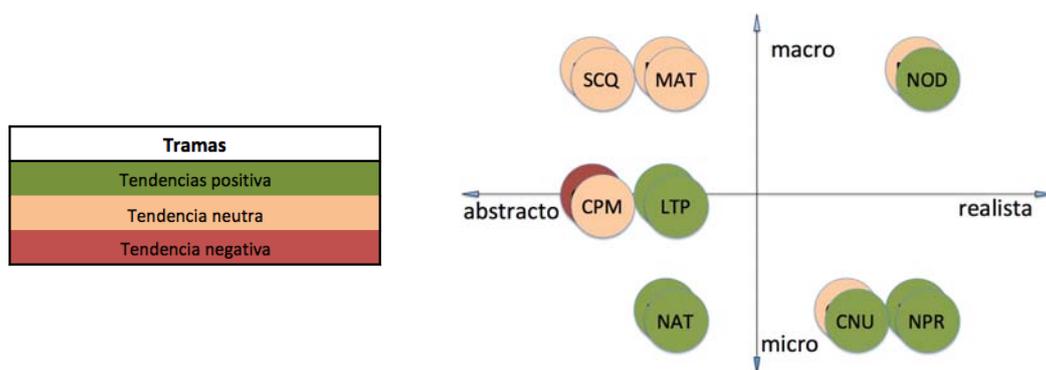


Figura 46. Tendencias de la pertinencia de uso de atributos de los elementos químicos en ESO y bachillerato

Hay tres atributos que mantienen una tendencia positiva en los dos niveles: *número atómico*, que evoluciona notoriamente hacia una clara mayoría que lo considera necesario en bachillerato, como se puede ver en la tabla; y los otros dos, *lugar en la tabla periódica* y *número de protones*, que también evolucionan aumentando opiniones sobre la necesidad de usarlos, aunque sin mostrar tanta unanimidad como el atributo *número atómico* en bachillerato. Es de resaltar que, a pesar de la tendencia positiva, hay una persona que considera que no es conveniente usar *número atómico* ni *número de protones* en ESO (como veremos más adelante, se trata de la misma persona y esto es importante para configurar el perfil).

Hay dos atributos que tiene división de opiniones tanto en ESO como en bachillerato: *sobrevive al cambio químico* y *se caracteriza por la masa atómica* y los dos son del cuadrante abstracto/macro. Por otra parte, los atributos que cambian de tendencia, lo hacen hacia una más positiva de la que tenían en ESO, es decir, que su uso se considera más conveniente en bachillerato: *no se puede descomponer por medios químicos* (NOD) y *se caracteriza por la carga nuclear* (CNU), ambos del lado realista de la dimensión ontológica, que cambian de color naranja a color verde; y *carece de propiedades macroscópicas* (CPM), del lado abstracto, que cambia de rojo a naranja. Es interesante comparar esto con lo que encontramos en los libros de texto analizados, de los cuales sólo 1 menciona de manera explícita el atributo NOD y se trata de un libro de ESO, y sólo 1 de bachillerato usa el atributo CNU de manera explícita.

En esta pregunta tampoco son muy significativos los cambios que suceden en las tendencias generales al pasar de ESO a bachillerato. Podemos decir que ganan “peso” los aspectos realistas (y el atributo *carece de propiedades macroscópicas*, que es abstracto) pero al mirar los números concretos, este cambio tampoco es drástico. La tendencia, aunque pequeña, parece ser la de complejizar la caracterización de los elementos. Esto es razonable aunque, al comparar con lo que encontramos en los libros de texto de la muestra analizada, vemos que allí sólo cambia la tendencia con uno de los atributos: *se caracteriza por la masa atómica* pasa de usarse en ESO a no usarse en Bachillerato, pero los demás atributos mantienen la misma tendencia de cambio entre los dos niveles tanto en los profesores como en los libros de texto; es

decir, la presencia de los atributos *se caracteriza por su lugar en la tabla periódica, se caracteriza por el número atómico y se caracteriza por el número de protones*, y ausencia de las demás.

6.2.3 Tercera pregunta: propiedades periódicas de los elementos químicos

Qualifiquen d'1 a 4 les següents propietats dels elements químics, segons la pertinència de fer-les com a propietats "periòdiques" en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).

Propiedades periódicas de los elementos químicos	ESO					Bachillerato				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Energía de ionización (EION)	3	6	3	1	0	2	0	1	2	8
Densidad (DENS)	3	3	1	6	0	2	0	1	3	7
Fórmulas de los compuestos que forma (FCQF)	3	2	4	4	0	2	1	1	2	7
Valencias (VALE)	3	0	4	4	2	2	0	0	2	9
Electrones de valencia (EVAL)	3	2	1	7	0	2	0	1	1	9
Números de oxidación (NOXI)	3	1	3	6	0	2	1	0	2	8
Tipo de orbital del electrón diferenciador (ODIF)	3	5	3	2	0	2	1	2	2	6
Capacidad de combinación química (COMB)	3	2	4	4	0	2	1	2	2	6
Radio atómico (RATM)	3	4	1	5	0	2	1	0	1	9
Carácter metálico (CMET)	3	1	1	3	5	2	0	1	0	10
Configuración electrónica de valencia (CFEV)	3	3	1	5	1	2	1	0	2	8
Afinidad electrónica (AFEL)	3	5	3	2	0	2	0	1	1	9
Radio iónico (RION)	3	5	3	2	0	2	1	1	2	7
Reactividad (REAC)	3	3	2	5	0	2	0	2	4	5
Electronegatividad (ELNG)	3	2	6	2	0	2	0	1	0	10
Puntos de ebullición y de fusión (PEYF)	3	2	2	2	4	2	0	2	2	7
Estructura de la sustancia simple (ESSS)	3	4	2	2	2	2	1	3	2	5
Otra...	13	0	0	0	0	13	0	0	0	0

Tabla 53. Pertinencia del uso de propiedades periódicas por parte de los profesores

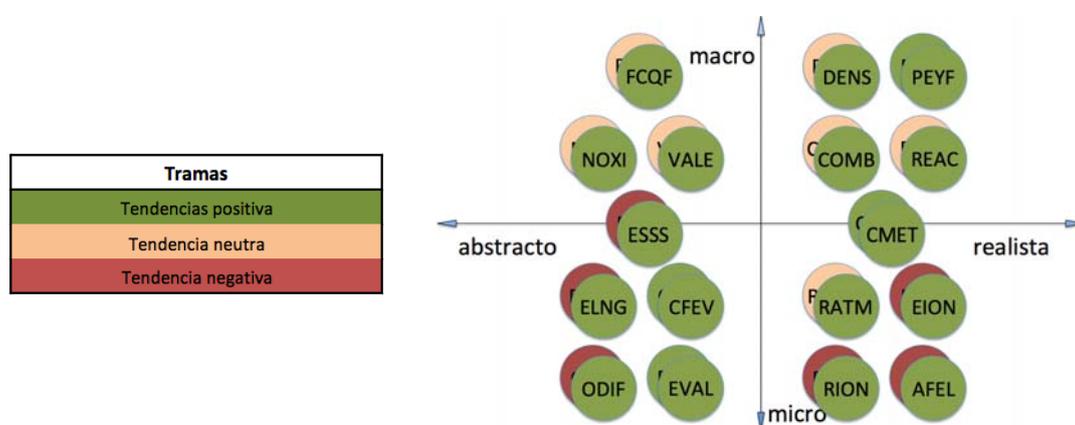


Figura 47. Tendencias sobre la pertinencia de uso de las propiedades periódicas en ESO y bachillerato

Lo primero que se hace evidente en el esquema es que hay una gran división de opinión en ESO y una gran unanimidad en bachillerato. Todas las propiedades periódicas que ofrecemos en la pregunta muestran tendencia positiva en bachillerato, y hay un claro consenso en casi todas sobre la necesidad de usarlas en clase; sólo hay divergencia de opiniones con *reactividad*, que están divididas casi a mitades entre la pertinencia y la necesidad, pero la tendencia es positiva. Como vimos con los libros de texto, en ellos también se ve el mismo cambio entre los dos niveles educativos, aunque no de una manera tan definida. En todo caso, la tendencia general es a aumentar la cantidad de propiedades periódicas, lo cual significa que la visión de elemento se hace más compleja al pasar de ESO a bachillerato.

Vale la pena resaltar que hay algunas propiedades en la serie de bachillerato, sobre las cuales una persona (no se trata de la misma persona) opina que no es conveniente tratarlas, contrariamente a lo que opinan la mayoría de profesores de la muestra; éstas propiedades son: *fórmulas de los compuestos que forma, números de oxidación, orbital del electrón diferenciador, capacidad de combinación química, radio atómico, configuración electrónica de valencia, radio iónico y estructura de la sustancia simple*. Como ya lo hemos dicho, en casos como éstos, en los que hay una particularidad tan notoria, dicha información será más relevante en el análisis individual. Por el momento, podemos señalar que estas respuestas no corresponden a la misma encuesta (como se puede ver en el anexo 2 y en el análisis individual que presentamos en la sección 6.3) sino que están distribuidas de la siguiente manera: *fórmulas de los compuestos que forma* no es adecuada en la encuesta PB6, *radio atómico* y *radio iónico* no son adecuadas en la encuesta PB9, *configuración electrónica de valencia* no es adecuada en la encuesta PB10; y *números de oxidación, orbital del electrón diferenciador, capacidad de combinación química, estructura de la sustancia simple* no son convenientes en la encuesta PB12.

En ESO, a pesar de que hay mayor división en las opiniones, también encontramos algunas tendencias claras. Se pueden ver las tendencias positivas en las siguientes propiedades: *electrones de valencia, carácter metálico, configuración electrónica de valencia, puntos de ebullición y de fusión*, que evolucionan aumentando las opiniones positivas al pasar de ESO a bachillerato. También se pueden notar las tendencias negativas en la consideración de las siguientes propiedades: *energía de ionización, orbital del electrón diferenciador, afinidad electrónica, radio iónico, electronegatividad y estructura de la sustancia simple*.

La visión de elemento que comunican las respuestas es diferente en los dos niveles. En bachillerato tenemos una visión claramente compleja, que contempla todos los niveles. En la ESO, encontramos una tendencia negativa en la mayoría de los aspectos microscópicos, mientras que no hay tendencias negativas en los macroscópicos (hay división de opinión); sólo hay una propiedad con tendencia

positiva en el nivel macro (realista) y dos en el nivel micro (abstracto). Si le damos más importancia a las negativas y tenemos en cuenta los relatos más habituales, se puede decir que la visión de la muestra tiende a ser más macroscópica y realista en ESO y que evoluciona hacia una visión más compleja de elemento al tenerse en cuenta más propiedades de los átomos; y, tal como lo hemos visto en los libros de texto, algunas de estas propiedades están relacionadas con el modelo de la mecánica cuántica.

6.2.4 Cuarta pregunta: secuencias para introducir la tabla periódica

Etiqueten amb nombres ordinals els ítems següents segons la seqüència que considereu més adient per introduir la TP (0: ítems no adequats, 1: primer ítem, 2: segon ítem, 3: tercer ítem, etc.).

Tramas	PE2	PE3	PE5	PE7	PE8	PE10	PB2	PB3	PB7	PB8	PB10	PB11	PB12
Modelo de Dalton													
Modelo de Rutherford													
Modelo de Bohr													
Átomo mecánica cuántica						NA					NA	NA	
Propiedades p de átomos												M	
Propiedades p sustancias			M										
Prop sustancia/est interna	M	M	NA	NA									
TP de números atómicos	NA	NA			NA		M	M	NA	NA			
TP de masas					M		NA	NA		M			NA
Configuración electrónica													M
Configuración/sitio TP													
Electrones de valencia													
Electr de val/comp químico													
Expl electrostática de prop													

Figura 48. Secuencias consideradas pertinentes en ESO y en bachillerato

Tal como presentamos las secuencias de los libros de texto en el capítulo 5, el esquema muestra una primera columna con las tramas, un bloque de columnas que corresponde a las respuestas sobre la secuencia en la ESO y otro bloque con las respuestas sobre la secuencia en Bachillerato. El número de la primera fila corresponde al código con el que hemos enumerado las personas, y las letras PE o PB, corresponden a ESO o bachillerato correspondientemente; de esta manera, los códigos informan cuáles secuencias pertenecen a la misma persona y para qué nivel están contestadas.

Como se puede ver, no todas las personas contestaron esta pregunta, ni todas las que la contestaron lo hicieron para los dos niveles, algunas la contestaron sólo para ESO o sólo para bachillerato.

La primera idea que salta a la vista es que, tal como sucede con los libros de texto, hay una mayoría de personas que considera que antes de introducir la tabla periódica se deben tratar los modelos atómicos, y que se deben tratar de acuerdo con el orden cronológico histórico Dalton-Rutherford-Bohr (D-R-B). De las 13 secuencias, 11 siguen este orden. Esto coincide con lo que encontramos en los libros de texto. De las dos que no siguen la secuencia D-R-B, una de ellas, PB11, sólo invierte el orden para empezar con B, pero después le siguen D y R. La otra secuencia que no empieza con D-R-B, que es PE5, empieza con las propiedades periódicas de las sustancias y coloca los modelos de Bohr y de la mecánica cuántica, B y MC, unos pasos después de las tablas periódicas, lo cual es una particularidad importante entre los profesores que contestaron la encuesta. También es fácil notar que la mayoría de las personas que respondieron, considera que MC no se debe tratar en ESO pero sí en bachillerato, y que se debe enseñar consecutivamente después de B. Sólo una de las personas que lo propone en bachillerato (PB10), lo propone para el final de la secuencia, los demás lo usan antes de las tablas periódicas.

También es interesante observar que la mayoría de secuencias colocan las propiedades periódicas de las sustancias (PS) hacia el final, seguidas de la relación de éstas con la estructura interna, como sucede con PE2, PE3, PE7, PB2, PB3, PB7, PB12; o en la mitad, como sucede con PE8, PE10, PB8, PB10, PB11; y sólo una secuencia, PE5, las coloca al principio. Esta tendencia mayoritaria también coincide con lo que encontramos en los libros de texto, aunque en ellos hay menos unanimidad al respecto. En el análisis individual volveremos sobre esto porque, como se ve, la secuencia PE5 es bien diferente a las otras propuestas, y una de las cosas que se nota a primera vista es que, como decíamos antes, no empieza con modelos atómicos, y además, los coloca después de las tablas periódicas.

A propósito de las tablas periódicas, una de las cuestiones que tendremos en cuenta para el análisis individual, como lo hicimos con los libros de texto, es la posición relativa entre la tabla de masas (M) y la de números atómicos (NA). Especialmente nos interesa ver si aparecen consecutivamente, como sucede mayoritariamente en los libros de texto que analizamos. En el diagrama se puede ver claramente, y vale la pena resaltarlo, que en la mayoría de los casos las dos tablas periódicas se tratan de manera consecutiva y adyacente, incluso en PE5; es el caso de PE2, PE3, PE5, PE8, PB2, PB3, PB8, PB11 y PB12. Cuatro de estas secuencias (dos de ellas propuestas por la misma persona, una para ESO y otra para bachillerato) colocan M y NA en un orden inverso respecto al cronológico: PE8, PB8, PB11 y PB12. En este sentido también es interesante notar que los casos en los cuales se colocan consecutivamente corresponden a la totalidad de las secuencias en las que están contempladas las dos;

las restantes sólo consideran NA y corresponden a cuatro secuencias formuladas por dos personas, cada una en ESO y en bachillerato: PE7, PB7 y PE10, PB10.

6.2.5 Quinta pregunta: aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

Qualifiquen d'1 a 4 els següents aspectes de la TP segons la pertinència de tractar-los en aquests nivells (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).

Aspectos de la tabla periódica	ESO					Bachillerato				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Diversos formatos i variacions de la TP actual	3	2	5	3	0	2	0	1	7	3
La TP que usa presentada como la más exacta	3	3	4	2	1	2	3	6	1	1
La TP que usa presentada como la más útil	3	1	1	4	4	2	0	2	5	4
Diversas relaciones entre elementos (diagonales, en L, etc.)	3	6	4	0	0	2	1	5	3	2
Representaciones tridimensionales de la LP	3	5	5	0	0	2	2	4	3	2
División de la TP en los bloques s, p, d, f	3	4	4	2	0	2	0	1	0	10
La TP que usa presentada como la que muestra más relaciones	3	3	0	7	0	2	1	3	6	1
Triadas de los elementos con los números atómicos	3	3	4	2	1	2	2	2	5	2
La TP que usa presentada como la única actual	3	5	2	3	0	2	5	2	4	0

Tabla 54. Tabla de frecuencias sobre la pertinencia de tratar aspectos de la TP en ESO

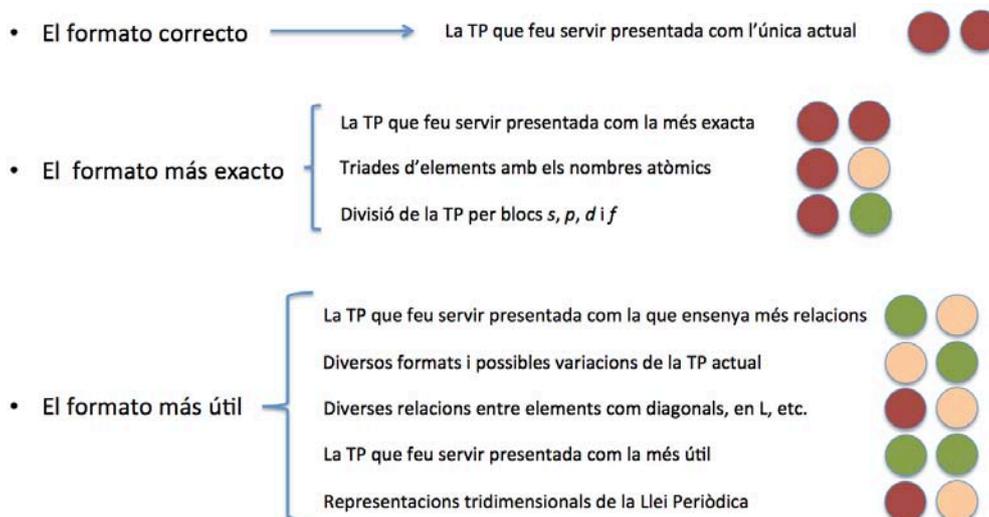


Figura 49. Red sistémica sobre la pertinencia de tratar aspectos de la TP en ESO y en bachillerato

Al frente de cada ítem, el primer círculo corresponde a la tendencia observada en ESO y el segundo a la tendencia observada en bachillerato. A partir de las tendencias que hemos representado en la red sistémica anterior podemos afirmar que la visión genérica de la muestra es relativamente flexible en cuanto a los formatos de la tabla periódica, porque las tendencias negativas se dan en los aspectos clasificados dentro de las categorías *El formato correcto* y *El formato más exacto*. En esta última categoría hay

un cambio de tendencia positivo en dos ítems: el que se refiere a las triadas, que pasa de negativo a discrepante, y el que se refiere a la división por bloques *s, p, d, f*, que pasa de tendencia negativa a positiva. Este último cambio es bastante evidente en los números: pasa de 8 negativas (4 la consideran inadecuada y 4 adecuada) a 10 positivas (todas la consideran necesaria). Esta tendencia es coherente con los relatos habituales en los libros de texto, que suelen tratar dicha división por bloques sólo en bachillerato, como lo hemos comprobado en la muestra que analizamos.

Es interesante constatar que la flexibilidad que muestran las respuestas de los profesores no se detecta, ni siquiera mínimamente, en los libros de texto. Como vimos en el capítulo 5, la tabla periódica generalmente se presenta como “la actual”, “la correcta” o, pocas veces, como “la más habitual”. Por lo tanto, llama la atención que 10 de 13 profesores consideren que en bachillerato es conveniente o necesario tratar diversos formatos y posibles variaciones de la tabla periódica. También llama la atención que 9 de 11 personas que contestan en bachillerato, y 8 de 10 que contestan en ESO, consideren conveniente o necesario enseñar un formato como “el más útil”; idea que se refuerza con la tendencia de las valoraciones al ítem *La TP que usa presentada como la única actual*, el cual valoran negativamente 7 personas de 11 que contestan en bachillerato y 7 de 10 que contestan en ESO.

Además de las tendencias positivas en los aspectos relacionados con el tipo de formato más útil (tercera categoría), encontramos dos tendencias negativas relativamente unánimes en dos aspectos para ESO: tratar las diversas relaciones entre los elementos (diagonales, movimientos en L, etc.) y enseñar formatos tridimensionales. Si miramos la tabla de frecuencias, concretamente los registros de las respuestas en estos dos ítems, podemos ver que los dos tienen calificación negativa por parte de las 10 personas que respondieron (poco conveniente o no conveniente), y el cambio al pasar a bachillerato no es muy importante porque, aunque las opiniones están más repartidas, continúa habiendo una mayoría de calificaciones negativas, concretamente de personas que consideran poco conveniente tratarlos en bachillerato. Es decir, que las personas que respondieron tanto para ESO como para bachillerato prefieren mostrar sólo las tradicionales columnas, grupos o familias, y los bloques *s, p, d, f*.

Todos los ítems muestran un cambio de tendencia positiva (algunos levemente como los que mencionamos en el párrafo anterior) excepto el que se refiere a la tabla periódica “que muestra más relaciones”; éste pasa de tendencia positiva en ESO a tendencia controvertida en bachillerato, pero si miramos los números concretos, la calificación de 3 (conveniente) pasa de 7 personas a 6, y la calificación de 4 (necesario) pasa de 0 a una; esto significa que las opiniones quedan un poco más distribuidas pero el cambio no es muy significativo.

En general, podemos decir que en la muestra se nota una tendencia a flexibilizar la idea del formato cuando se cambia de nivel educativo, pero conservando el relato habitual que considera la división por bloques como algo necesario en bachillerato y no adecuado en ESO.

6.2.6 Sexta pregunta: atributos de la ley periódica

Qualifiquen d'1 a 4 els següents atributs de la Llei Periòdica segons si esteu d'acord en ensenyar-los en aquests nivells, explícita o implícitament (4: molt d'acord, 3: d'acord, 2: en desacord, 1: molt en desacord).

Atributos de la ley periódica	ESO					Bachillerato				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Es una ley científica como cualquiera otra	4	1	4	3	1	3	1	4	4	1
Es una ley característica de la química, diferente de las físicas	4	1	4	2	2	3	1	4	1	4
Es una ley empírica	4	1	3	3	2	3	2	3	3	2
Es una ley que ha sido explicada por la mecánica cuántica	4	5	2	2	0	3	2	2	5	1
Es una ley aproximada	4	3	3	3	0	3	3	4	3	0
Es una ley exacta, pero con excepciones	4	2	4	1	2	3	1	2	5	2
Es una ley explicativa	4	2	1	4	2	3	1	1	6	2
Es una ley de clasificación	3	0	0	5	5	2	0	1	5	5
Es una ley (otra)...	13	0	0	0	0	13	0	0	0	0

Tabla 55. Tabla de frecuencias sobre el nivel de acuerdo de los profesores a usar atributos de la ley periódica

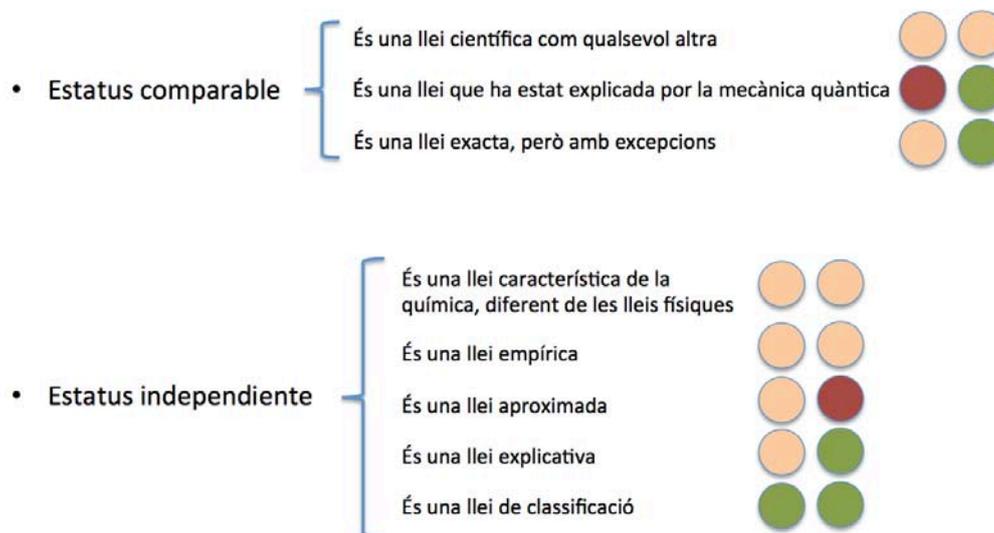


Figura 50. Red sistémica sobre el uso de atributos de la ley periódica en ESO y bachillerato

Es difícil concluir sobre alguna tendencia en cuanto a las dos categorías, porque tanto en una como en otra, encontramos tendencias positivas, negativas y de controversia; la única unanimidad clara es la ley periódica se considera como una ley de clasificación, lo cual es coherente con lo que encontramos en los libros de texto.

En cuanto al carácter explicativo de la ley periódica, no deja de ser curioso que haya un consenso relativamente amplio (especialmente en bachillerato) por el hecho de enseñarla como tal porque, como vimos en el capítulo 5, en los libros de texto no tiende a aparecer esta idea, ni siquiera de manera implícita. De hecho, sólo encontramos un libro que lo menciona de manera explícita y ninguno de manera implícita. Por otra parte, aunque no hay una unanimidad completa, sí son similares los resultados de las encuestas y de los libros en cuanto a la mecánica cuántica; como hemos visto en el análisis de los libros, es frecuente encontrar relatos en los de bachillerato que muestran la tabla periódica casi como una confirmación de la mecánica cuántica, o al menos de la configuración electrónica y de la exactitud de la correspondencia entre ésta y la casilla que corresponde a cada elemento en la tabla periódica.

6.2.7 Séptima pregunta: predicciones, correcciones y acomodación

Qualifiquen d'1 a 4, segons la pertinència de tractar-les en aquests nivells, les següents accions que possiblement van ser importants per a l'acceptació de la Taula Periòdica per part de la comunitat científica (4: és necessari, 3: és pertinent, 2: és poc adequat, 1: no és adequat).

Acciones importantes para la aceptación de la ley periódica	ESO					Bachillerato				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Predicciones exitosas de elementos desconocidos y sus propiedades	3	0	3	5	2	2	0	0	5	6
Dar indicios de la existencia de una estructura interna de los materiales	3	0	2	4	4	2	0	1	3	7
Corrección y ajuste de datos de elementos ya conocidos	3	1	6	2	1	2	1	5	3	2
Dar coherencia al conocimiento químico como sistema	3	3	1	5	1	2	1	4	3	3
Sustentar una concepción de elemento químico bstracto e individual	4	3	5	1	0	3	3	4	2	1
Dar indicios de explicaciones teóricas de los hechos químicos	4	1	2	6	0	3	0	3	3	4
Dar indicios de la existencia física del átomo	4	1	4	2	2	3	1	3	2	4
Sustentar el comportamiento matemático de la materia	4	2	5	2	0	3	2	3	2	3
Otra...	13	0	0	0	0	13	0	0	0	0

Tabla 56. Tabla de frecuencias sobre la pertinencia de tratar acciones importantes para la aceptación de la ley periódica

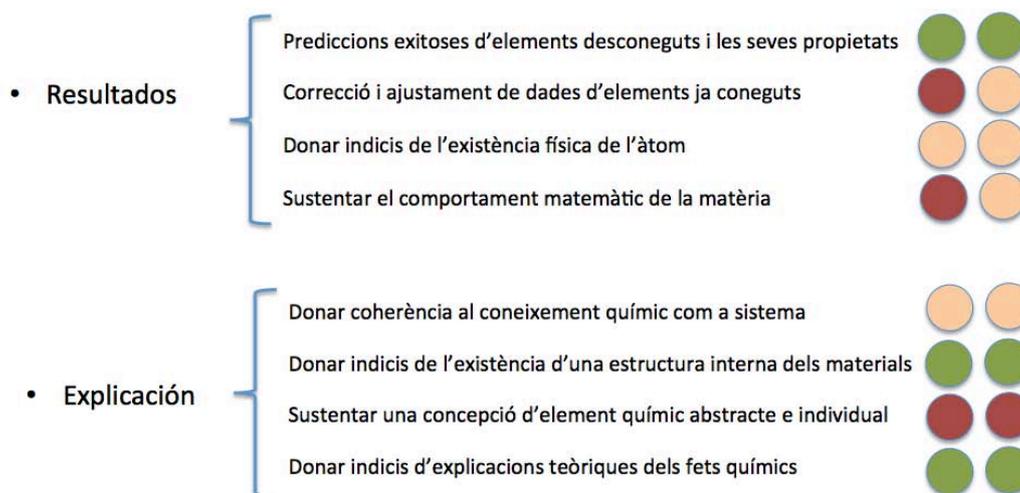


Figura 51. Red sistémica de tendencias sobre la pertinencia de tratar acciones importantes para la aceptación de la ley periódica en ESO y en bachillerato

En esta pregunta tampoco hay una tendencia definida en alguna de las dos categorías, aunque parece que la segunda, la que tiene que ver con que el éxito de la tabla periódica se debe más a la explicación que a los resultados, está más favorecida que en los libros de texto.

El primer ítem de la primera categoría coincide con lo que encontramos en los libros de texto, donde es el único que aparece de manera explícita. De hecho, como ya lo explicamos, ésta es, casi exclusivamente, la única de las virtudes que se menciona en los libros de la muestra, sobretodo en el momento de comparar el éxito de Mendeleiev con el de otros científicos, especialmente Meyer, que suele ser el único que se equipara en importancia. Las principales diferencias están, pues, en los ítems que los profesores valoraron positivamente, que son: *Dar indicios de la existencia de una estructura interna de los materiales* y *Dar indicios de explicaciones teóricas de los hechos químicos*.

Es interesante resaltar la unanimidad negativa, como la ausencia en los libros, del ítem que se refiere a la concepción de elemento abstracto. Esto refuerza una idea sobre la que hemos ido llamando la atención y que hemos ido detectando mediante todos los indicios que nos permiten las encuestas y las plantillas de análisis; se trata de la idea de que la concepción abstracta de elemento químico parece estar bastante ignorada en la enseñanza de la tabla periódica. En algunos libros se sugiere, pero generalmente se hace de manera implícita, como ya lo vimos en el capítulo 5.

6.2.8 Octava pregunta: razones para enseñar la tabla periódica

Pregunta 8. Qualifiqueu d'1 a 4, segons el vostre acord, les següents raons per les quals pot ser important ensenyar la TP en aquests nivells (4: molt d'acord, 3: d'acord, 2: en desacord, 1: molt en desacord).

Razones para enseñar la tabla periódica	ESO					Bachillerato				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Muestra las semejanzas entre los elementos químicos	3	0	0	6	4	2	0	0	4	7
Síntetiza gran parte del conocimiento químico	3	0	2	2	6	2	0	2	3	6
Es una de las ideas más brillantes de nuestra cultura científica	3	0	3	4	3	2	0	5	3	3
Ayuda a explicar el comportamiento de los átomos	3	0	1	5	4	2	0	0	0	11
Ayuda a explicar la interacción química entre las sustancias	3	0	2	4	4	2	0	2	1	8
Ayuda a recordar propiedades de los elementos químicos	3	0	1	6	3	2	0	0	3	8
Clasifica los bloques fundamentales de la materia	4	1	2	3	3	3	0	4	2	4
Ayuda a relacionar el nivel macroscópico con el nivel simbólico	4	1	2	3	3	3	1	2	4	3
Permite predecir posibles elementos desconocidos hasta ahora	3	0	5	4	1	2	0	2	5	4
Ayuda a explicar el comportamiento de las sustancias	3	0	0	7	3	2	0	0	3	8
Evidencia el carácter eléctrico de los fenómenos químicos	3	2	1	5	2	2	1	2	3	5
Sirve como herramienta para desarrollar competencias en clase	4	1	2	3	3	3	1	0	5	4
Es una representación visual de todos los elementos	3	0	1	3	6	2	0	2	1	8
Sugiere la existencia de estructuras internas de las sustancias	3	0	2	6	2	2	0	1	4	6
Permite ordenar y condensar mucha información en poco espacio	3	0	1	3	6	2	0	2	1	8
Acompaña a conceptualizar la experiencia química	4	0	2	3	4	3	0	1	3	6
Permite predecir fórmulas químicas	4	1	0	4	4	3	0	1	1	8
Ayuda a "fabricar" nuevos elementos	4	3	4	1	1	3	4	2	2	2
Otra...	13	0	0	0	0	13	0	0	0	0

Tabla 57. Tabla de frecuencias sobre las razones para enseñar la tabla periódica

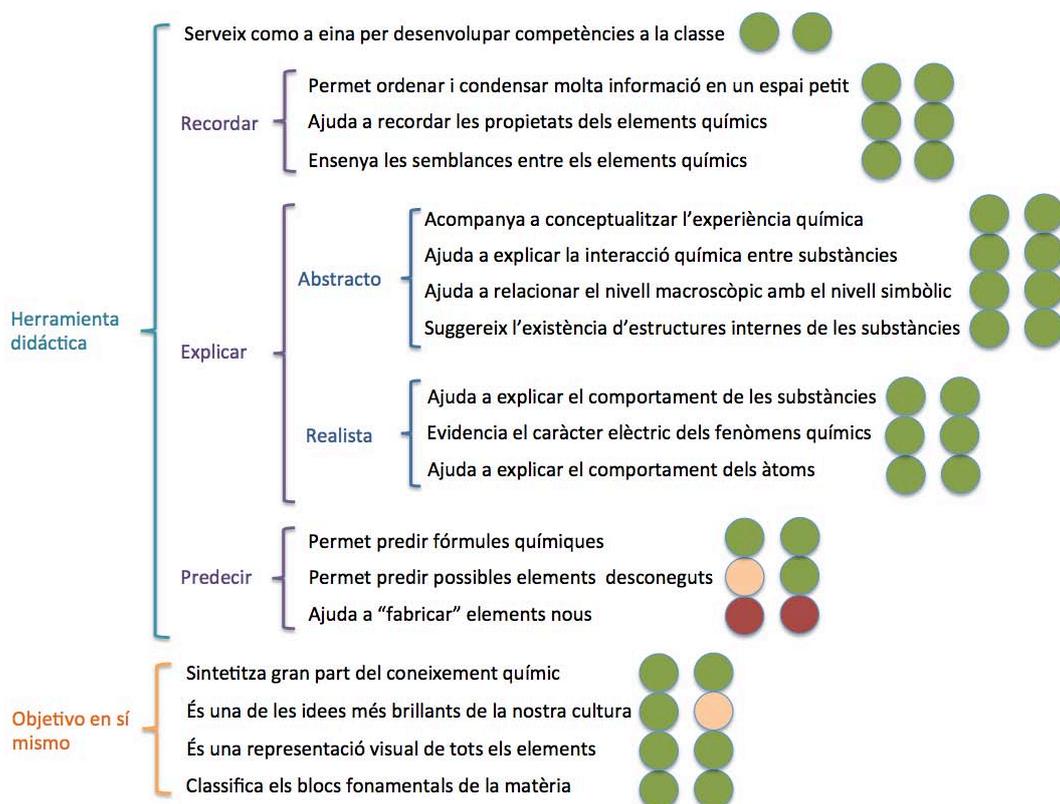


Figura 52. Red sistémica de tendencias sobre el acuerdo con las razones para enseñar la TP en ESO y bachillerato

Se puede ver que hay acuerdo general en que la mayoría de las razones que proponemos en la encuesta son importantes para enseñar la tabla periódica, excepto en tres de ellas. El ítem que sugiere que la tabla periódica ayuda a fabricar nuevos elementos es con el que más profesores están en desacuerdo: 7 de 10 en ESO y 6 de 10 en bachillerato. Las opiniones están más divididas en otras dos razones: que la tabla periódica permite predecir elementos desconocidos (en ESO) y que se trata de una de las ideas más brillantes de nuestra cultura científica (en bachillerato). Como vimos en el capítulo 5, las razones por las cuales es importante enseñar la tabla periódica no suelen hacerse explícitas en los libros de texto, excepto la idea de que se trata de una manera de mostrar las semejanzas entre los elementos químicos.

Es interesante señalar, y tener en cuenta para el análisis individual que presentamos en la siguiente sección, que a pesar del consenso positivo en la mayoría de las respuestas, hay algunas razones que obtienen el "muy en desacuerdo" de algunos profesores. En ESO, por ejemplo, encontramos 5 razones, y en bachillerato encontramos 3 (además de la que ya hemos mencionado sobre los nuevos elementos). Una de las que obtienen calificación de 1 en los dos niveles, ESO y bachillerato (al menos por parte de una persona), es que la tabla periódica ayuda a relacionar el nivel macro con el nivel simbólico, la cual encontramos implícitamente en algunos libros de bachillerato (esta razón sólo está explícita en 1 libro) y que está relacionada con lo que comentábamos antes sobre la importancia del concepto de elemento

como entidad abstracta y la conexión que puede hacer entre entidades observables y no observables, tanto por la escala espacial como por el carácter conceptual.

6.3 Análisis e interpretación de las respuestas de cada encuesta

A continuación presentamos el análisis y la interpretación de las respuestas de cada una de las personas, con el fin de evaluar la coherencia en dichas respuestas y elaborar los perfiles que después compararemos con los que encontramos en los libros de texto.

Tal como lo hicimos con los libros en el capítulo 5, para cada persona describimos y etiquetamos 5 aspectos: la concepción de elemento químico (caracterización y periodicidad) a partir de los gráficos bidimensionales de las tres primeras preguntas (sobre las etiquetas, los atributos y las propiedades periódicas), la secuencia para introducir la tabla periódica (con un esquema condensado), la visión sobre el formato, el estatus de la ley periódica y la importancia de enseñar la tabla periódica en los cursos de ESO y bachillerato. Las redes sistémicas que elaboramos con las respuestas de cada encuestas están en el anexo 4; en esta sección sólo colocamos las correspondientes a las de la persona 2 (encuestas PE2 y PB2), a modo de ejemplo.

6.3.1 Persona 1, encuestas E1 y B1

Concepción de elemento químico

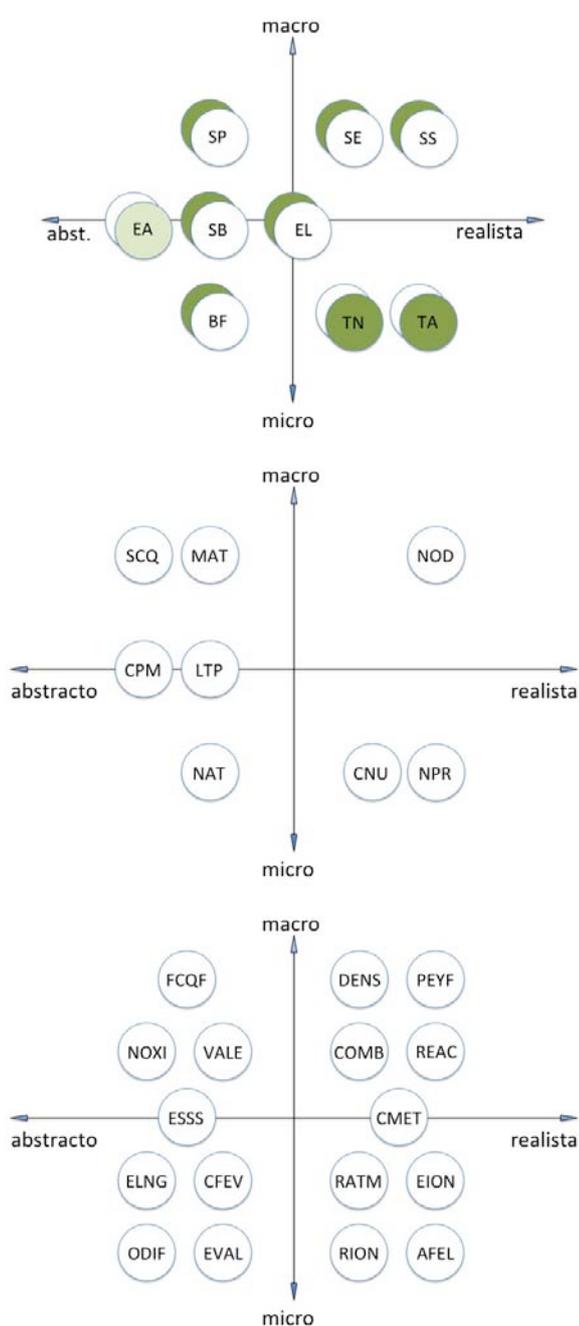


Figura 53. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la persona 1

En estas dos encuestas sólo obtuvimos respuestas a la primera pregunta y por lo tanto no tenemos suficiente información para elaborar un perfil. Además, sólo se valoraron algunos ítems y se valoraron positivamente, es decir, con las opciones de “necesidad” o de “conveniencia”. En todo caso, nos atrevemos a especular que las casillas que quedaron en blanco son opiniones, como mínimo, menos positivas que las que se valoraron con un 3 o con un 4. De ser así, parece que hay un posicionamiento en cuanto a que el uso de las etiquetas debe ser diferenciado y excluyente en los dos niveles: Para ESO, se usan 6 etiquetas que no se usan en bachillerato, y para bachillerato se usan 3 que no se usan en ESO. Aunque se le da prioridad al carácter abstracto en bachillerato con EA, las otras valoraciones sugieren que la visión en bachillerato debe ser más micro/realista y en ESO debe ser más compleja, teniendo en cuenta las entidades desde puntos de vista más abstractos y más macroscópicos. No deja de ser curioso que el uso de la etiqueta “elemento” sea más necesario en ESO que en bachillerato, y que la etiqueta entidad abstracta sea más necesaria en bachillerato que en ESO. Es posible que esta persona relacione el término “abstracto” con el átomo, por ser una entidad no observable, es decir, abstracto en contraposición de concreto.

6.3.2 Persona 2, encuestas PE2 y PB2

Concepción de elemento químico

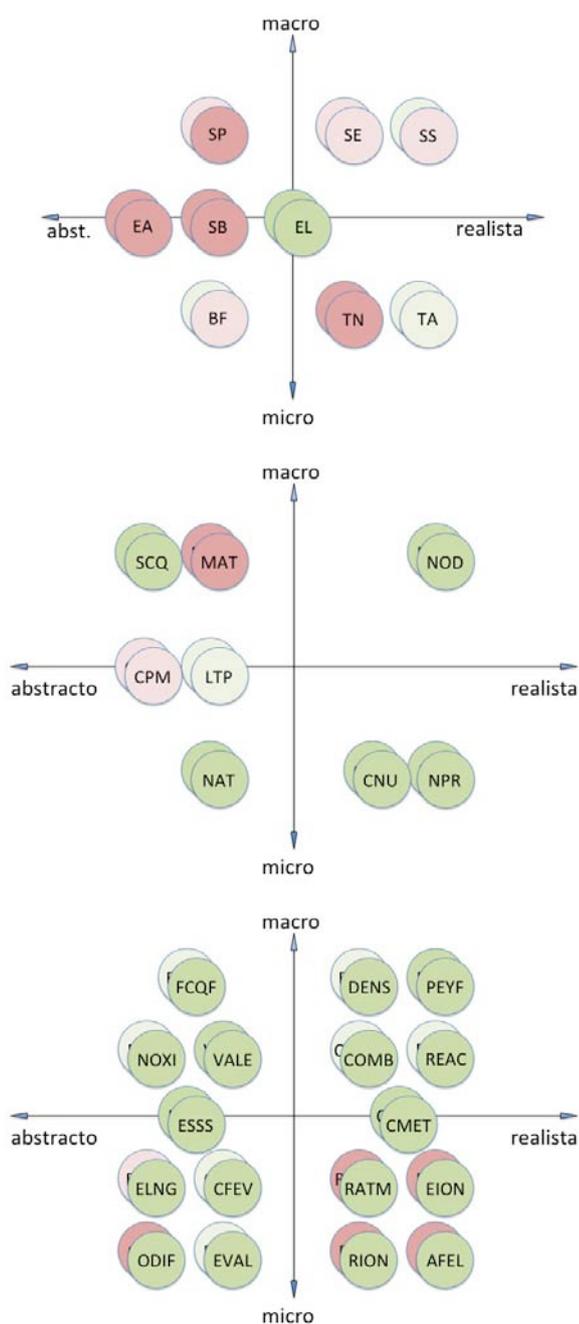


Figura 54. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 2

Las únicas etiquetas convenientes o necesarias en los dos niveles son EL y TA, tal como sucede en la tendencia general, tanto de las encuestas como de los libros de texto. Hay 5 etiquetas con valoración negativa en los dos niveles: EA, SB, SP SE y TN; de éstas sólo cambia SP, que pasa a "no conveniente". Esta valoración de SP es contraria a la tendencia general, que muestra un consenso positivo en su uso. Hay dos etiquetas, BF y SS, que son convenientes en ESO y poco convenientes en Bachillerato. En términos generales, el uso de las etiquetas se vuelve más restrictivo al aumentar el nivel educativo, porque en ESO se usan más etiquetas que en bachillerato y el cambio hace que la visión de elemento se simplifique, concentrándose más en el átomo físico. Los atributos que se deben usar, según estas valoraciones, son los mismos en los dos niveles y pertenecen a todos los cuadrantes, sólo MAT y CPM tienen valoración negativa. La periodicidad también tiende a hacerse más compleja: en ESO la distribución de etiquetas está más cargada hacia la parte macroscópica, mientras que en bachillerato aparecen todas las propiedades como "necesarias".

Caracterización: átomo físico y químico

Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general, con prioridad macroscópica en ESO

Secuencia para introducir la tabla periódica

A continuación presentamos las dos secuencias elaboradas por la persona 2: PE2 (para ESO) y PB2 (para bachillerato). Las dos barras horizontales del gráfico de abajo muestran la secuencia de manera unidimensional, donde cada color representa uno de los ítems correspondientes en el mismo código de colores que hemos estado utilizando y que, para facilitar la lectura, colocamos al costado del esquema bidimensional. También presentamos la secuencia en el esquema bidimensional que nos permite seguirla a través de las dos cuatro cuadrantes. En este caso sólo representamos una de las dos secuencias en el diagrama bidimensional porque, como se ve en el diagrama unidimensional, las dos secuencias son esencialmente iguales; sólo se diferencian en que PB2 incorpora el modelo atómico de la mecánica cuántica a la secuencia de modelos atómicos.

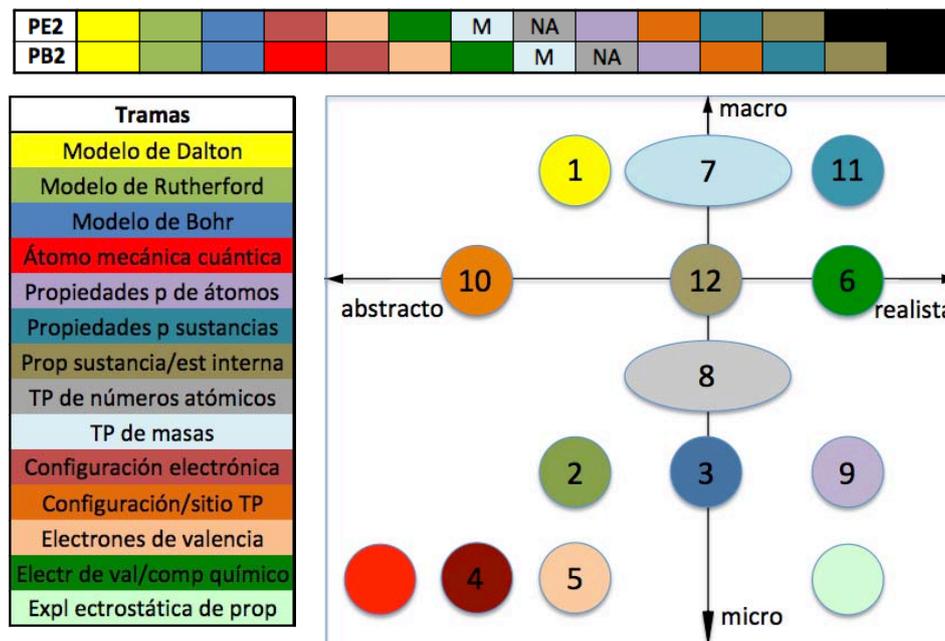


Figura 55. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 2

En la secuencia de ESO, PE2, se consideran 12 ítems de los 14 propuestos. Se dejan de lado los correspondientes al modelo atómico de la mecánica cuántica y las explicaciones electrostáticas de las propiedades periódicas de los átomos. La secuencia de bachillerato, PB2, al incorporar el modelo de la mecánica cuántica, sólo deja de lado las explicaciones electrostáticas.

Las dos tablas periódicas se tratan de manera consecutiva, como en todas las secuencias en las que aparecen las dos. Hemos visto que cuando la secuencia se construye así en los libros, las dos tablas periódicas funcionan como una sola, de manera que la de masas es un paso histórico previo a la de números atómicos. En este caso, las tablas periódicas funcionan para hacer la transición de los modelos atómicos a las propiedades periódicas de los átomos. Si condensamos el paso 6 con el conjunto de las dos tablas periódicas, podemos decir que éstas funcionan para transitar de lo abstracto a lo realista, manteniéndose en el nivel micro. Las propiedades periódicas de las sustancias macroscópicas se dejan para el final de la secuencia de los dos casos. El esquema condensado se muestra en la que resume el perfil, junto con las otras características del perfil.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

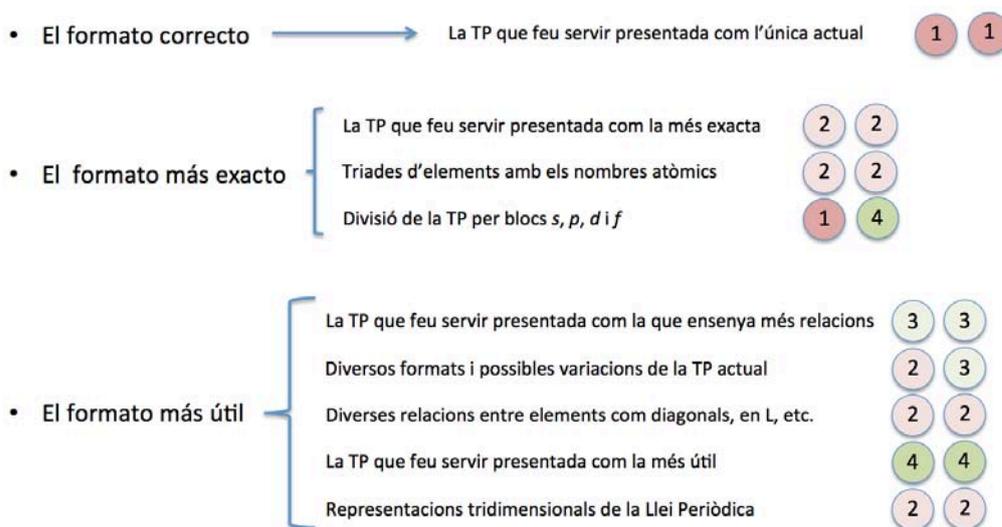


Figura 56. Red sistémica de los aspectos de la TP relacionados con el formato según la Persona 2

Coincide en términos generales con las tendencias mayoritarias, especialmente en la valoración negativa para los dos niveles escolares al ítem que sugiere presentar un formato como el “único actual”. Como ya hemos indicado, esto es coherente con la tendencia mayoritaria de las encuestas pero es contrario a lo que se presenta de manera mayoritaria en los libros de texto. En cuanto a las valoraciones de conveniencia, también coincidentes con la mayoría de las encuestas y poco coincidentes con la de los libros de texto, aparecen los ítems relacionados con la utilidad del formato y con la cantidad de relaciones que muestra. Vale la pena resaltar el cambio, de ESO a bachillerato, para la división de la tabla periódica en bloques s, p, d, f y para el hecho de mostrar diferentes formatos. Este cambio coincide

con la tendencia mayoritaria de las encuestas y de los libros. *La categoría preferente es El formato más útil* pero con mayor énfasis en la precisión al pasar a bachillerato.

Estatus de la ley periódica

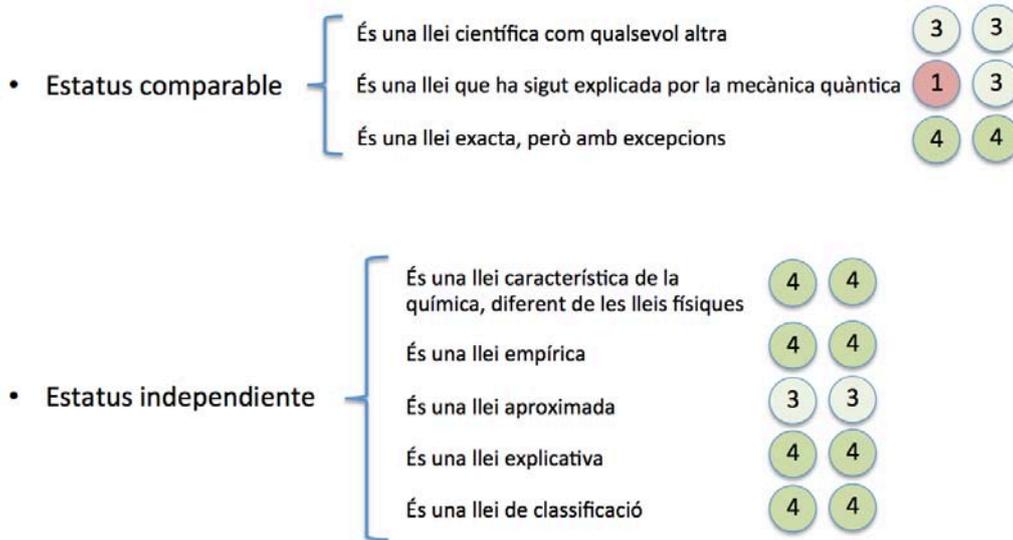


Figura 57. Red sistémica sobre el estatus de la ley periódica según la Persona 2

Las valoraciones en este caso son muy diferentes a la tendencia general, tanto de las encuestas como de los libros. Aunque el considerar la ley periódica como exacta le da carácter normativo a la visión reflejada en esta encuesta, también se puede ver que todos los ítems de la segunda categoría están valorados positivamente, y la mayoría se consideran necesarios. Parece haber una contradicción entre la valoración positiva de la exactitud y la valoración positiva del carácter aproximado. Lo único que sí se puede concluir claramente es que en ESO no es conveniente tratar la ley periódica como si hubiera sido explicada por la mecánica cuántica, pero en bachillerato sí. Esto tiene coherencia con el hecho de que en bachillerato se trate el modelo atómico de la mecánica cuántica y en ESO no, como podemos ver en las secuencias planteadas.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

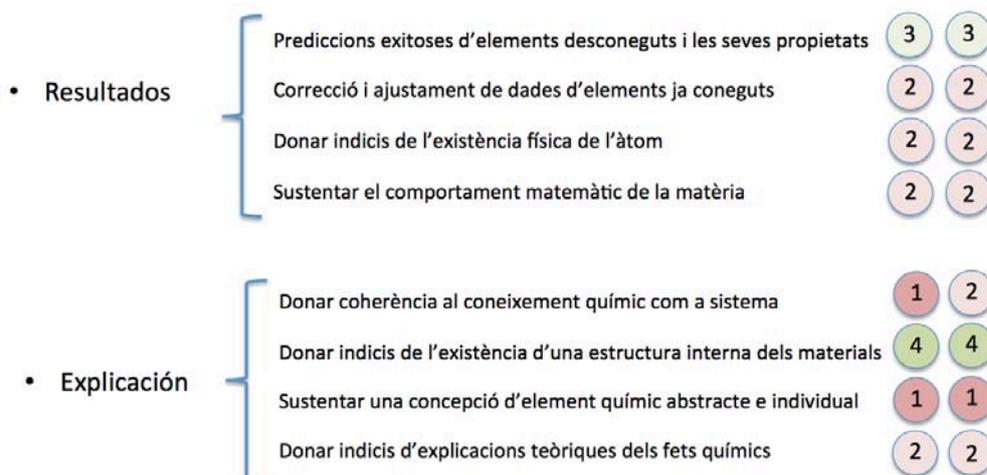


Figura 58. Red sistémica sobre las predicciones, acomodaciones y correcciones según la Persona 2

Las valoraciones que vemos en el esquema anterior coinciden con la tendencia mayoritaria de las encuestas en los dos ítems que se valoran positivamente: el que sugiere que se traten las predicciones exitosas de Mendeleiev, que es el ítem que encontramos mayoritariamente explícito en los libros de texto, y el ítem que sugiere tratar la importancia que tuvo la tabla periódica para dar indicios de la existencia de una estructura interna de los materiales. Estas respuestas tampoco nos dan información para sugerir una tendencia entre las dos categorías anteriores, pero si nos ceñimos a los ítems que son necesarios, podemos decir que en este caso, la ley periódica fue más importante en el sentido explicativo que por los resultados como tales.

Razones para enseñar la tabla periódica

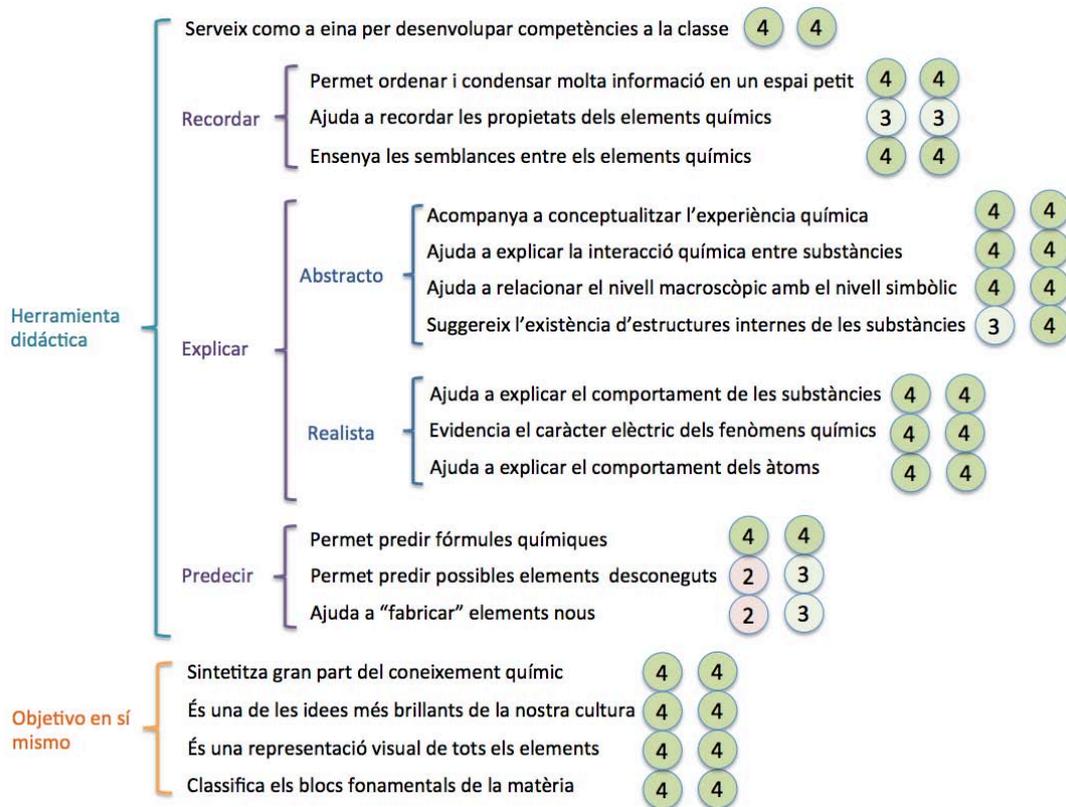


Figura 59. Red sistémica sobre las razones para enseñar la TP según la Persona 2

En general, las valoraciones coinciden con la tendencia de la mayoría de las personas encuestadas porque los pocos ítems que tienen valoraciones negativas (sólo en ESO), también las tienen en la tendencia de la muestra; estos son los ítems relacionados con la predicción de elementos desconocidos y con la “fabricación” de elementos.

Perfil a partir de las encuestas PE2 y PB2

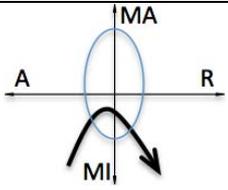
Elemento químico	Caracterización: átomo físico y químico Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general, con prioridad macroscópica en ESO	
Secuencia	Las dos tablas se usan en conjunto para transitar entre lo abstracto y lo realista, manteniéndose en el nivel de los átomos.	
Formato de la TP	El más útil, aumentando el énfasis en la precisión en el bachillerato	
Estatus de la LP	Contradicción (exacta y aproximada).	
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar, explicar y predecir fórmulas químicas.	

Tabla 58. Perfil de la Persona 2

6.3.3 Persona 3, encuestas PE3 y PB3

Las respuestas que encontramos en esta encuesta son básicamente las mismas que las de la anterior, como se puede ver en el anexo 2, excepto por pequeñas diferencias que no cambian la caracterización. El perfil que resulta es igual que el de la persona anterior.

6.3.4 Persona 4, encuestas PE4 y PB4

Concepción de elemento químico

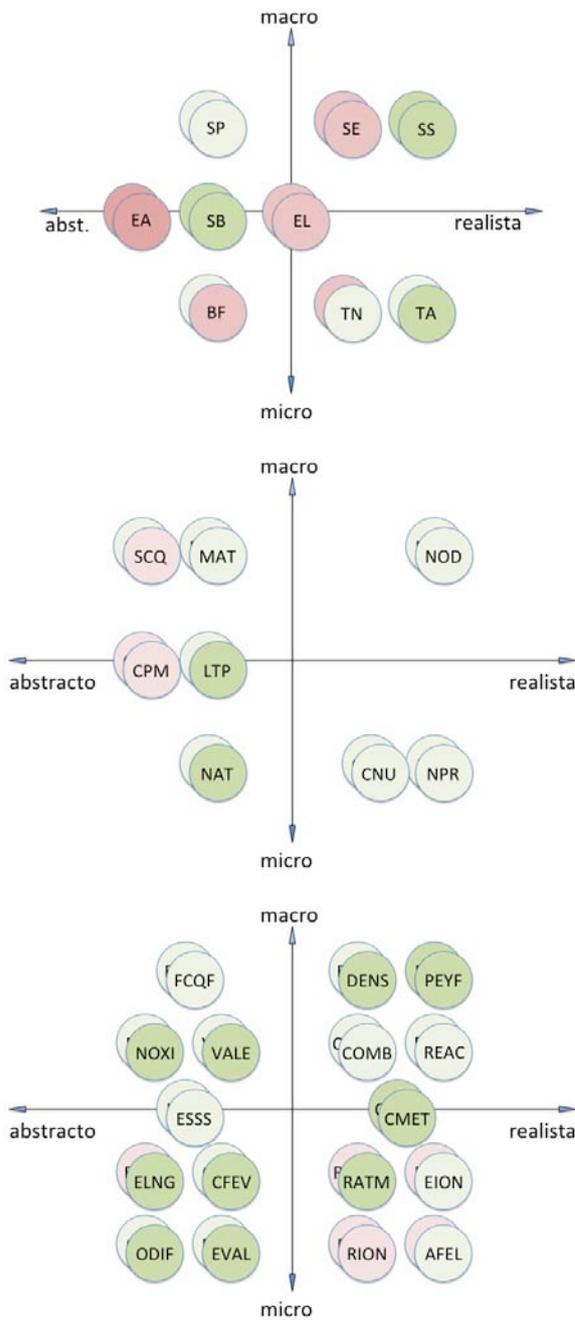


Figura 60. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 4

La diferencia más importante que encontramos respecto a las tendencias generales en estos aspectos es que la etiqueta EL está valorada negativamente en los dos niveles escolares y, en cambio, la etiqueta SB está valorada positivamente. Es difícil interpretar el hecho de que la etiqueta EL se conciba como poco conveniente o no conveniente, pero es posible que esté relacionado con evitar la polisemia, y se prefiera usar una etiqueta para cada significado, como sustancia simple o tipo de átomo, pero éstas son especulaciones que sólo se contrastarían en una entrevista. En cuanto a los atributos de los elementos, la valoración positiva de MAT le da un carácter más abstracto a la visión de elemento. En cuanto a las propiedades, aumenta la cantidad de propiedades en bachillerato, como es frecuente; pero sin aumentar de manera tan determinante el "peso" de los ítems que están en el cuadrante realista/micro, porque RION está valorado negativamente y las propiedades EION y AFEL están valoradas con 3 en vez de 4. En todo caso, se mantiene la prioridad macroscópica en ESO donde todas las del cuadrante micro/realista están valoradas negativamente.

Caracterización: elemento abstracto

Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general, con prioridad macroscópica en ESO.

Secuencia para introducir la tabla periódica

No hay información sobre este aspecto porque no obtuvimos respuesta a la pregunta.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

Se nota una tendencia a darle más importancia en bachillerato a los ítems relacionados con la utilidad del formato. Se diferencia de la mayoría en que se valora positivamente el ítem que alude a que el formato que se usa debe ser presentado como el único actual (esto sí coincide con los libros de texto). Y coincide con la mayoría de las encuestas (y con los libros de texto) en cuanto a considerar la división en bloques sólo en bachillerato.

Estatus de la ley periódica

No se puede decir que haya una tendencia definida en una de las dos categorías, pero sí podemos ver un cambio evidente de valoración entre los dos niveles educativos de la primera categoría, cambiando de negativas a positivas. En la segunda categoría resaltamos dos ideas: la primera es la valoración negativa en los dos niveles para el ítem relacionado con el carácter aproximado de la ley (la exactitud también está valorada negativamente en ESO); y la segunda idea que resaltamos es que hay un cambio invertido de los dos últimos ítems, que nos llevan a interpretar que en ESO debe tratarse la ley periódica como una ley de clasificación y en bachillerato como una ley explicativa (además de exacta y explicada a través de la mecánica cuántica).

Predicciones, acomodaciones y correcciones

Están valorados positivamente diversos ítems de las dos categorías, pero las que cambian de un nivel a otro pasan de ser “convenientes” a ser “necesarias”. Se valora negativamente el tratar la aportación de coherencia sistémica de la tabla periódica, pero se acepta el tratar los aspectos relacionados con las estructuras internas y las explicaciones teóricas de los fenómenos químicos. Las predicciones exitosas se deben enseñar en bachillerato y no en ESO. La diferencia más significativa con la tendencia general es que se valora con 3 y 4, en ESO y bachillerato respectivamente, el ítem sobre la existencia del átomo, el cual tiene diversidad de opiniones en la muestra de las encuestas.

Razones para enseñar la tabla periódica

Tal como lo vemos en la tendencia de la mayoría, hay acuerdo con que la mayoría de las razones que proponemos son importantes para enseñar la tabla periódica. Es interesante

destacar que la relación entre el nivel macroscópico y el nivel simbólico es más importante en ESO que en bachillerato y que, como se puede interpretar de las preguntas anteriores, la relación con el comportamiento atómico es más importante en bachillerato.

Perfil a partir de las encuestas PEA y PB4

Elemento químico	Caracterización: elemento abstracto Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general, con énfasis macroscópico en ESO.
Secuencia	No aplica
Formato de la TP	El único actual. La utilidad es más importante en bachillerato
Estatus de la LP	En ESO se debe enseñar como una clasificación. En bachillerato como una ley exacta, explicada por la mecánica cuántica.
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a explicar, recordar, y predecir. En bachillerato se debe basar más en el átomo y en ESO en el elemento como entidad simbólica.

Figura 61. Perfil de la Persona 4

6.3.5 Persona 5, encuesta PE5

Concepción de elemento químico

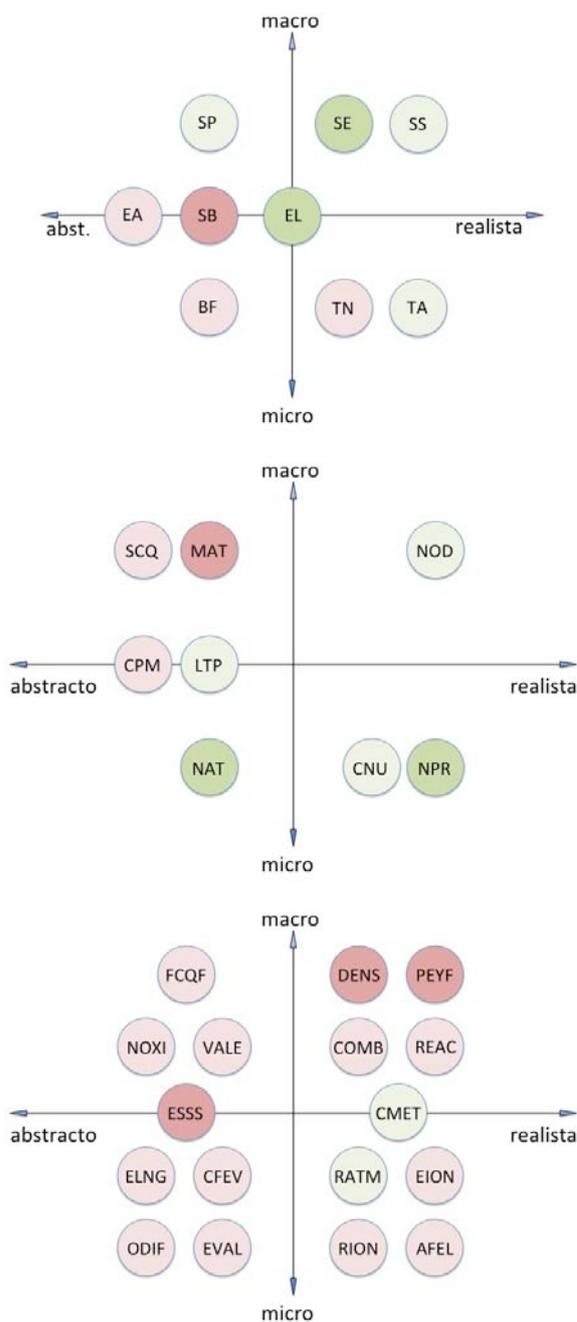


Figura 62. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO según la Persona 5

Las respuestas de este cuestionario corresponden sólo a ESO, ya que no respondió la encuesta relativa al bachillerato.

En cuanto a las etiquetas de elemento, la única diferencia marcada con respecto a la mayoría (y también con respecto a los libros de texto) es el uso de la etiqueta SE, lo cual aumenta el "peso" de las etiquetas del cuadrante realista/macro. Los atributos (y las propiedades periódicas), en cambio, parecen reforzar más los aspectos micro, y como en las etiquetas también se valora positivamente TA, hay coherencia con la visión más atómica del elemento. Es curioso que se valore TN negativamente en las etiquetas, pero se valore positivamente CNU en los atributos. Sólo se consideran dos propiedades periódicas, CMET y RATM, lo cual marca la diferencia con la mayoría. El considerar RATM en ESO acentúa el carácter atómico realista.

Caracterización: átomo físico

Periodicidad: Propiedades físicas del átomo

Estatus de la ley periódica

A pesar de haber valoraciones positivas en las dos categorías, el único ítem que se califica con un 4 es el que propone la ley periódica como una clasificación, lo cual coincide con la tendencia mayoritaria. La información que se puede extraer de las otras respuestas queda dispersa: se valora la ley periódica como empírica, explicativa, y que puede ser explicada por la mecánica cuántica (en este ítem se diferencia considerablemente de la tendencia mayoritaria que considera que en ESO no es adecuado).

Predicciones, acomodaciones y correcciones

La mayoría de los ítems se valoran positivamente, especialmente en dos, que se valoran con 4: el que se refiere a las predicciones (de la misma manera que la tendencia de la muestra y los libros de texto) y el que se refiere a los indicios de una estructura interna de los materiales (de la misma manera que la tendencia de la muestra y contrariamente a la de los libros de texto).

Razones para enseñar la tabla periódica

De las pocas valoraciones negativas que encontramos en esta pregunta, es importante resaltar dos que son contrarias a la mayoría y que nos dan elementos importantes para acabar de construir el perfil. Se muestra desacuerdo con que la tabla periódica sirva como herramienta para desarrollar competencias en clase y que ayude a relacionar el nivel macroscópico con el nivel simbólico.

Perfil a partir de la encuesta PE5

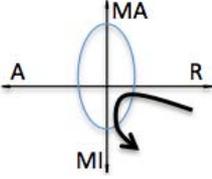
Elemento químico	Caracterización: átomo físico Periodicidad: Propiedades físicas del átomo	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como un todo. Se usan con el átomo físico sin cambiar de cuadrante	
Formato de la TP	El más útil, por su exactitud	
Estatus de la LP	Es una ley empírica y exacta, explicada por la mecánica cuántica.	
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar información y a explicar el comportamiento de los átomos y sus electrones	

Tabla 59. Perfil de la Persona 5

6.3.6 Persona 6, encuestas PE6 y PB6

Concepción de elemento químico

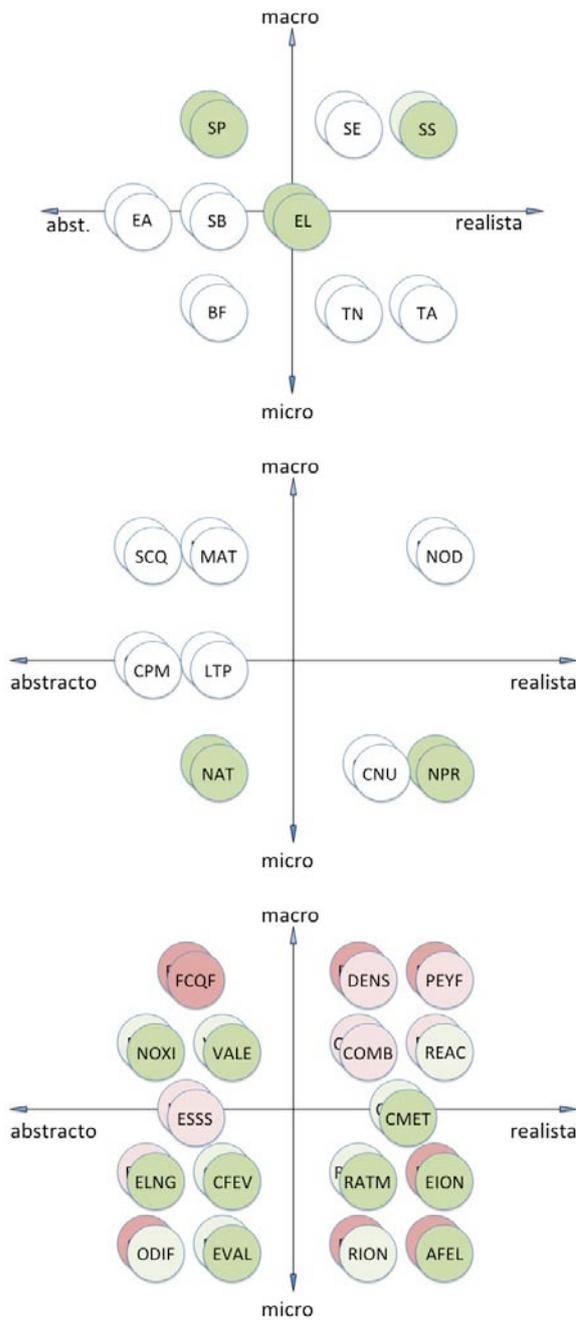


Figura 64. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 6

Aunque en el primer diagrama predominan las etiquetas macroscópicas valoradas positivamente respecto a las no valoradas (no hay valoraciones negativas), en el segundo diagrama, referido a los atributos, predominan las etiquetas microscópicas valoradas positivamente (respecto a las no valoradas). Estos dos esquemas se contradicen, en cuanto a la caracterización de los elementos. Las valoraciones sobre las propiedades periódicas nos muestran una tendencia más afín a la del esquema de atributos que a la del esquema de las etiquetas, porque se nota una tendencia, al menos en bachillerato, hacia los aspectos micro/realistas más que hacia los macroscópicos. En ESO hay más propiedades del sector abstracto valorados positivamente que en el sector realista. El carácter macroscópico y realista se valora negativamente con las propiedades DENS, PEYF y COMB (tanto en ESO como en bachillerato).

Caracterización: Indefinida

Periodicidad: Propiedades físicas y químicas microscópicas

Secuencia para introducir la tabla periódica

No hay información sobre este aspecto porque no obtuvimos respuesta a la pregunta.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

Coincide con los libros de texto pero se diferencia de la mayoría de las encuestas en que el formato usado en clase debe ser presentado como el único que existe actualmente. Esto se combina con las valoraciones positivas de los ítems sobre el formato que muestra más relaciones y el sobre el formato que es más útil. Es decir que el formato actual, el único, es el más útil porque muestra la cantidad máxima posible de relaciones entre los elementos.

Estatus de la ley periódica

Las valoraciones en esta pregunta son bastante definidas y nos dan información clara mediante las únicas valoraciones positivas, aunque no hay una tendencia en una de las dos categorías en que agrupamos los ítems: En los dos niveles educativos es necesario tratar la ley periódica como una ley de clasificación, y en bachillerato es conveniente tratarla como una ley exacta, pero no así en ESO.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

No es conveniente tratar ninguno de los aspectos propuestos en los ítems en ESO y, en bachillerato, es conveniente tratar las predicciones exitosas, la corrección de datos de elementos conocidos y la idea de que la ley periódica dio indicios de la estructura interna de las sustancias. Posiblemente no trataría la tabla periódica de Mendeleiev, pero no lo sabemos porque no obtuvimos respuesta a la secuencia.

Razones para enseñar la tabla periódica

En ESO es importante enseñar la tabla periódica porque muestra las semejanzas entre los elementos y es una síntesis del conocimiento químico, ayuda a explicar el comportamiento y la interacción entre sustancias y entre átomos, y permite predecir fórmulas químicas. En bachillerato, es importante enseñarla por las mismas razones, como mínimo, pero también porque ayuda a recordar propiedades y sugiere la estructura interna de las sustancias. No es útil para desarrollar competencias en clase.

Perfil a partir de las encuestas PE6 y PB6

Elemento químico	Caracterización: Indefinida Periodicidad: Propiedades físicas y químicas microscópicas
Secuencia	No aplica
Formato de la TP	El único actual. El más útil porque muestra el máximo de relaciones
Estatus de la LP	Es una ley de clasificación (exacta, pero con excepciones si se enseña en bachillerato)
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar información, a explicar interacciones entre átomos y sustancias, y a predecir fórmulas.

Tabla 60. Perfil de la Persona 6

6.3.7 Persona 7, encuestas PE7 y PB7

Concepción de elemento químico

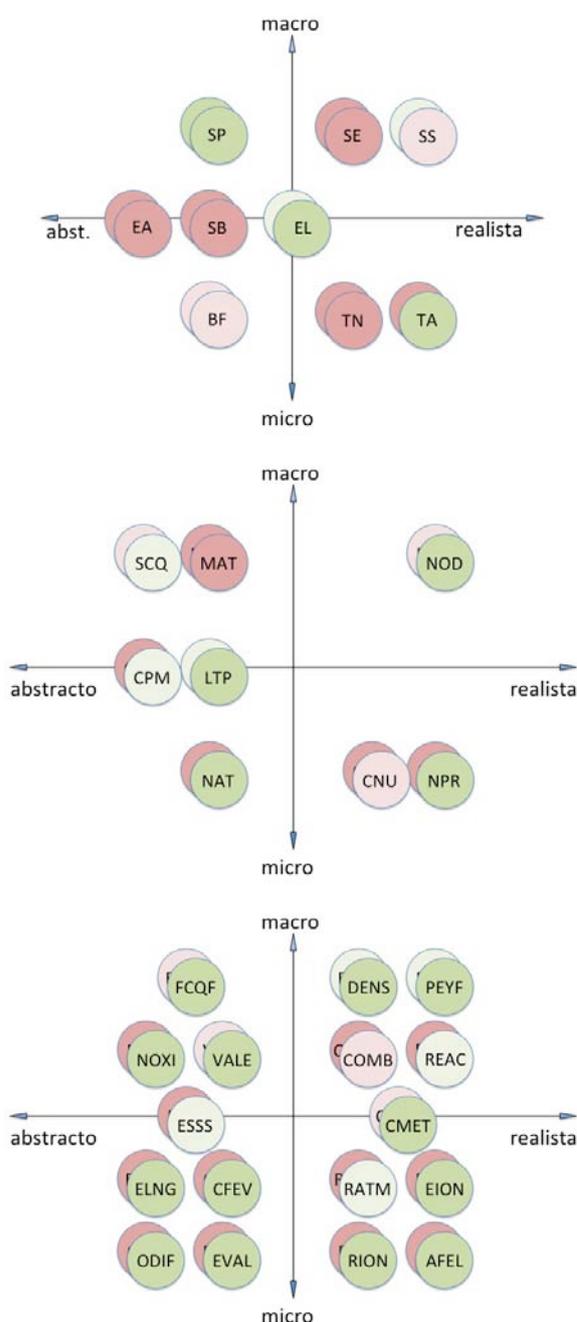


Figura 65. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 7

En ESO sólo se consideran necesarias o adecuadas tres etiquetas: EL, SP y SS, que están ubicadas en el sector macro del diagrama. En bachillerato, como es habitual, se considera necesaria TA. SS es poco conveniente en bachillerato, mas no en ESO, donde es conveniente. La diferencia principal con la tendencia está en TA, que la mayoría valora positivamente también en ESO. En los atributos se ve el aumento de complejidad al pasar a bachillerato. En ESO sólo se considera conveniente usar el LTP, en cambio en bachillerato todas son convenientes excepto MAT y CNU. En las propiedades periódicas podemos ver que en ESO sólo se valoran positivamente dos propiedades (DENS y PEYF), del cuadrante macro/realista, y en bachillerato se valoran positivamente todas excepto COMB. El aumento de complejidad notable entre ESO y bachillerato es similar a la tendencia mayoritaria, pero en la tendencia general dicho aumento de complejidad queda más cargado hacia el cuadrante micro/realista.

Caracterización: sustancia macroscópica en ESO y átomo químico en bachillerato.

Periodicidad: propiedades físicas macroscópicas de sustancias en ESO y propiedades físicas y químicas en general en bachillerato.

Secuencia para introducir la tabla periódica

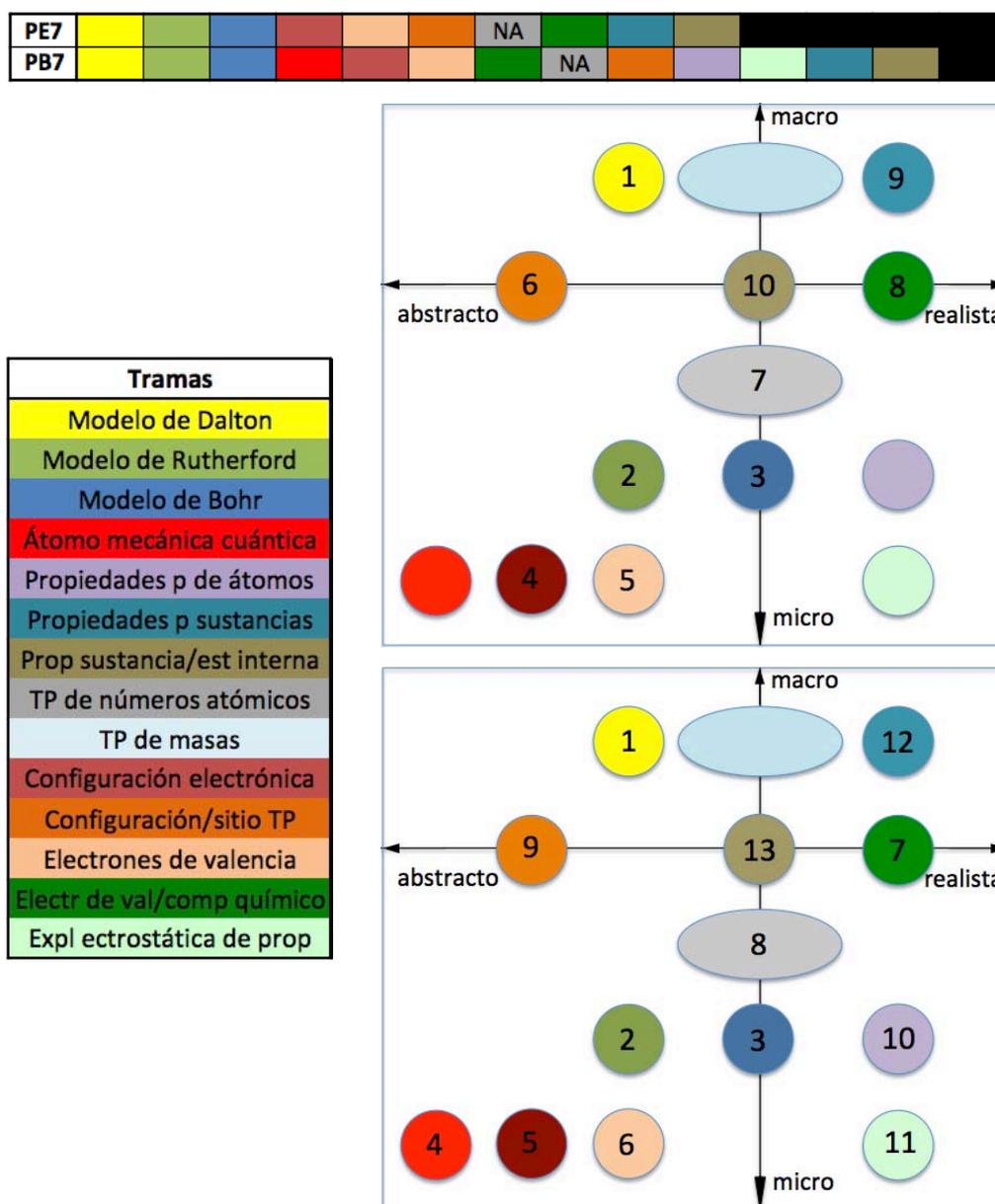


Figura 66. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 7

Las dos secuencias empiezan con los modelos atómicos, pero la de bachillerato incorpora el modelo de la mecánica cuántica después de los otros tres habituales. Ambas secuencias terminan igual: con las propiedades periódicas de las sustancias y la relación entre éstas y la estructura interna. También son iguales en que ninguna de las dos incorpora la tabla periódica de masas. Las diferencias entre ellas están en los pasos intermedios y en los aspectos que más nos interesan, es decir, antes y después de la tabla periódica (la de números atómicos porque es la única que se trata). El orden alrededor de la tabla periódica está invertido en las dos secuencias: la secuencia de ESO considera las relaciones entre

configuración electrónica y sitio en la tabla periódica antes de ésta y la de bachillerato coloca el mismo ítem después de presentar la tabla. Lo contrario sucede con el ítem que se refiere a la relación entre los electrones de valencia y el comportamiento químico de las sustancias: en ESO está después y en bachillerato está antes de la tabla periódica. Además, si consideramos estos tres pasos (6, 7, 8, en ESO y 7, 8, 9, en bachillerato) como un solo bloque podemos ver otra cosa más interesante: la secuencia de ESO usa la tabla periódica para pasar del cuadrante abstracto/micro al cuadrante realista/macro, mientras que la secuencia de bachillerato la utiliza para pasar del cuadrante abstracto/micro, al cuadrante realista/micro. En los dos casos, la tabla periódica cumple funciones diferentes. Por eso representamos cada secuencia con un esquema condensado diferente, como se muestra en más abajo en el resumen del perfil de estas dos encuestas.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

En ESO encontramos más valoraciones positivas en la categoría de “El formato más útil”, concretamente en dos ítems: el que apela directamente a la utilidad y el que se refiere a los diversos formatos y variaciones. En bachillerato también se consideran convenientes estos ítems casi con las mismas valoraciones (excepto un 4 en vez de un 3 en un ítem) pero además se consideran dos valoraciones positivas más de la segunda categoría: el ítem que propone las triadas y el ítem que propone la división por bloques *s, p, d y f*. Esto señala una tenencia a mostrar más importancia en la exactitud de la tabla periódica en bachillerato que en ESO.

Estatus de la ley periódica

Las valoraciones están dispersas en las dos categorías, pero son exactamente iguales para ESO y bachillerato. Claramente, se comunica la idea de que se debe enseñar como una ley empírica, exacta, y sin concederle diferencias respecto a las leyes de la física. Se valora negativamente el hecho de enseñarla como una ley que ha sido explicada por la mecánica cuántica, ni en ESO ni en bachillerato.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

En ESO está más clara la tendencia de valoraciones positivas en la categoría de *Explicación* que en la de *Resultados*; de hecho, en esta última categoría sólo se valora positivamente el ítem que propone enseñar las predicciones hechas por Mendeleiev, pero este ítem generalmente está bien valorado y recordemos que, además, es el único que muestra

tendencia de presencia explícita en los libros de texto. En la primera categoría sólo se valora negativamente el ítem que se refiere a la idea abstracta de elemento. En bachillerato se valoran positivamente casi todos los ítems excepto el que se refiere al comportamiento matemático de la materia.

Razones para enseñar la tabla periódica

Como objetivo en sí mismo, se le da importancia solamente al carácter visual que tiene la tabla periódica; pero esto también está relacionado con las valoraciones de “necesario” que se usan en la categoría en la que ubicamos los ítems que se refieren a la tabla periódica como herramienta que ayuda a recordar información. En todo caso, la mayoría de valoraciones positivas están repartidas en las categorías que sugieren que la importancia de enseñar la tabla periódica se debe a su utilidad como herramienta didáctica, no sólo para recordar información sino también para explicar comportamientos de sustancias a través de estructuras internas.

Perfil a partir de las encuestas PE7 y PB7

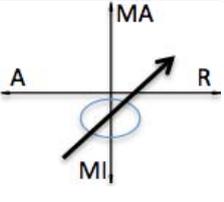
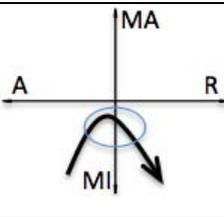
Elemento químico	Caracterización: sustancia macroscópica en ESO y átomo químico en bachillerato. Periodicidad: propiedades físicas macroscópicas de sustancias en ESO y propiedades físicas y químicas en general en bachillerato.	
Secuencia	ESO: Usa la tabla (de números atómicos) para transitar de abstracto/micro a real/macro	
	Bachillerato: Usa la tabla (de números atómicos) para transitar de abstracto/micro a real/micro sin pasar por el nivel macro.	
Formato de la TP	Entre los diversos formatos posibles, usar el más útil.	
Estatus de la LP	Es una ley empírica y exacta, que no ha sido explicada por la mecánica cuántica.	
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar información y a explicar el comportamiento de las sustancias por medio de los átomos y las estructuras	

Tabla 61. Perfil de la Persona 7

6.3.8 Persona 8, encuestas PE8 y PB8

Concepción de elemento químico

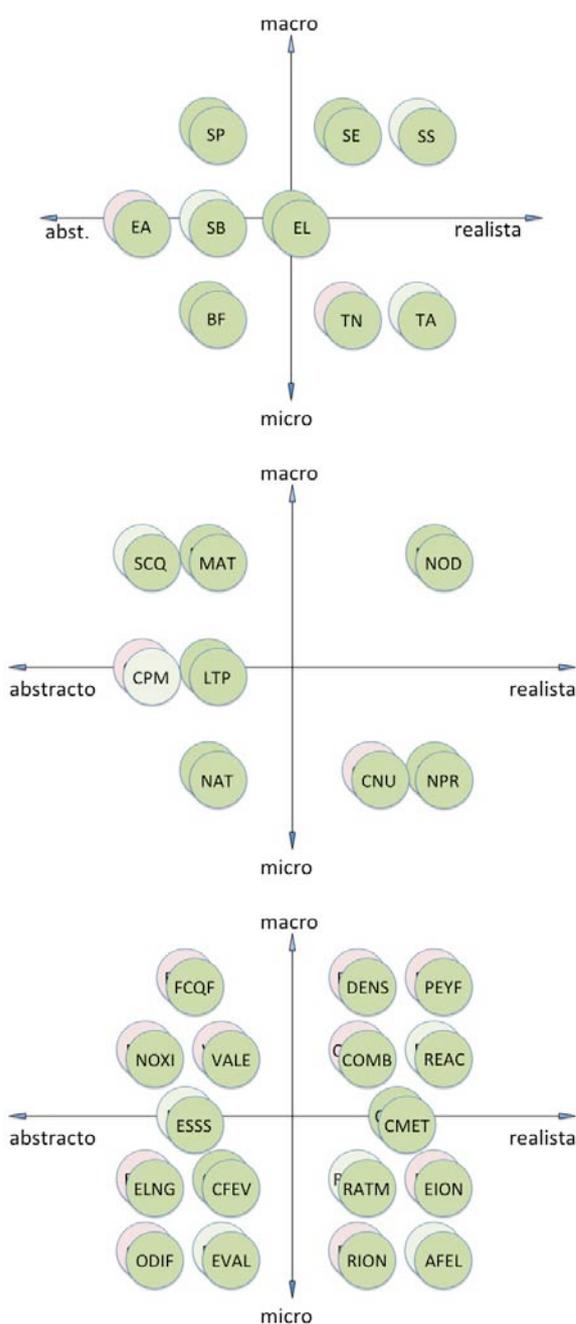


Figura 67. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 8

Casi todas las etiquetas que proponemos para elemento químico son aceptadas como necesarias o convenientes en esta respuesta, excepto dos de ellas en ESO, que son EA y TN. En bachillerato se aceptan todas como necesarias, incluso EA que en esta encuesta es en la única que está valorada con un 4 (de las dos que la valoran positivamente, pues en B1 se le da el valor de 3). Algo similar ocurre con los atributos, sólo se consideran poco adecuadas dos etiquetas en ESO: CPM y CNU. Los dos esquemas son coherentes porque en ESO se consideran poco adecuados los aspectos más abstractos (EA como etiqueta y CPM como atributo) y los aspectos relacionados con el núcleo del átomo (TN como etiqueta y CNU como atributo). También podemos ver ítems abstractos como SB y LTP que están considerados como convenientes o necesarios en los respectivos esquemas. Por otra parte, todas las propiedades periódicas se consideran necesarias en bachillerato, pero en ESO sólo se consideran necesarias o convenientes 7 de ellas, la mayoría de las cuales ocupan el lado micro del esquema.

Caracterización: Átomo físico y químico

Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general para bachillerato, y propiedades del átomo químico para ESO.

Secuencia para introducir la tabla periódica

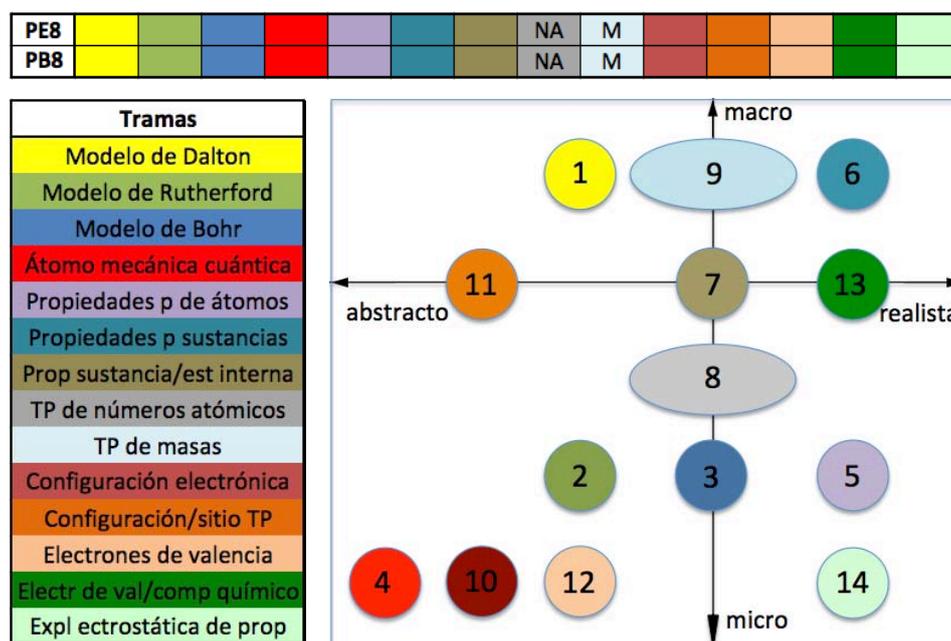


Figura 68. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 8

Las dos secuencias son iguales. Empiezan con los modelos atómicos, incluido el modelo de la mecánica cuántica y después se plantean las propiedades periódicas de los átomos. A éstas les siguen las propiedades periódicas de las sustancias, en el nivel macroscópico y, pasando por las relaciones entre ellas y la estructura interna, se plantean las dos tablas periódicas de manera consecutiva pero en sentido inverso de lo habitual, primero la de números atómicos y después de la de masas, volviendo posteriormente al nivel micro y abstracto con las configuraciones electrónicas. Con esta secuencia, las dos tablas se usan como tránsito del cuadrante realista/macro al cuadrante abstracto/micro, como se puede ver en el esquema condensado que presentamos en el perfil.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

Tanto en ESO como en bachillerato se da importancia a la cantidad de relaciones que puede mostrar un determinado formato, e igualmente a la posibilidad de tratar varios o las variaciones que pueda tener uno de ellos. No se considera conveniente la idea de presentar un formato como si fuera el único. Esto es consistente con la mayoría de la muestra y diferente de lo que encontramos en los libros de texto. En bachillerato, además, se valoran positivamente otros ítems, como las relaciones diversas entre elementos y las representaciones tridimensionales. Por otra parte, en la segunda categoría, se valoran como necesarios en bachillerato dos ítems que en ESO se valoran negativamente: los ítems

relacionados con la división en bloques de la tabla periódica y las tríadas de números atómicos.

Estatus de la ley periódica

Todos los ítems están valorados de la misma manera en ESO que en bachillerato. Sólo encontramos tres ítems bien valorados que nos conducen a interpretar, literalmente, que la ley periódica es una ley de clasificación, explicativa, y la puede explicar la mecánica cuántica.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

Todos los ítems propuestos son importantes en bachillerato, y en ESO se descartan tres: las predicciones exitosas (éste es uno de los pocos casos que las considera poco adecuadas), la corrección de datos conocidos y el sustentar la concepción abstracta de elemento. El carácter explicativo es evidente, que también se puede deducir de la pregunta anterior.

Razones para enseñar la tabla periódica

Todos los ítems son aceptados como necesarios o convenientes, excepto uno para ESO, que corresponde a la “fabricación” de nuevos elementos.

Perfil a partir de las encuestas PE8 y PB8

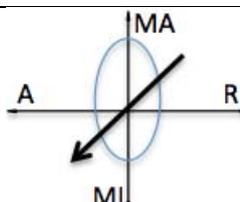
Elemento químico	Caracterización: Átomo físico y químico Periodicidad: Propiedades físicas y químicas en general para bachillerato, y propiedades del átomo químico para ESO.	
Secuencia	Las dos tablas funcionan como un todo, de tránsito entre lo macro/realista y lo micro/abstracto	
Formato de la TP	El más útil, por la cantidad de relaciones que muestra.	
Estatus de la LP	Es una ley de clasificación, explicativa que da coherencia al conocimiento químico. Explicada por la mecánica cuántica.	
Importancia	Todos los ítems propuestos	

Tabla 62. Perfil de la Persona 8

6.3.9 Persona 9, encuestas PE9 y PB9

Concepción de elemento químico

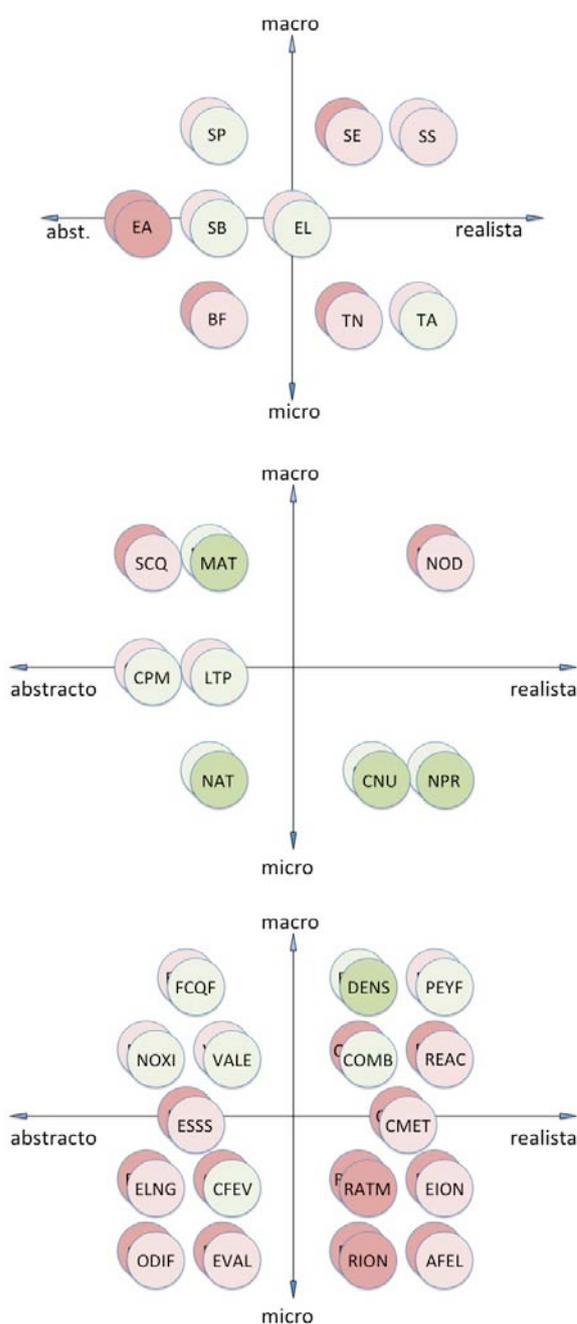


Figura 69. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 9

Ninguna de las etiquetas propuestas es aceptada como conveniente (ni necesaria) para ser usada en ESO, ni siquiera "elemento" (esto es llamativo, pero como hemos visto, hay tres personas que lo consideran así, 1 en bachillerato y 2 en ESO). Tampoco se propone ninguna etiqueta en la opción "otras". En bachillerato, hay similitud con la tendencia general en cuanto a aceptar como conveniente de SP, EL y TA; aunque también se acepta SB como conveniente, que no es considerada de la misma manera en la mayoría de la muestra. Los atributos más favorecidos en ESO son los del nivel micro, además de la masa atómica que está en el macro; pero en bachillerato se agregan los dos abstractos CPM y LTP. En cuanto a las propiedades periódicas, sólo se acepta una en ESO como conveniente, DENS, y en bachillerato se aceptan las del nivel macroscópico y CFEV, que está en el nivel micro.

Caracterización: átomo físico y químico

Periodicidad: Propiedades físicas y químicas macro

Secuencia para introducir la tabla periódica

No hay información sobre este aspecto porque no obtuvimos respuesta a la pregunta.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

En ESO no se acepta ninguna de las opciones como convenientes o necesarias. Para bachillerato sólo se considera una de ellas como conveniente: el formato que se usa presentado como el único actual. La única categoría en la cual se han valorado ítems positivamente es El formato correcto.

Estatus de la ley periódica

Hay una tendencia clara de valorar positivamente la segunda categoría. Hay pocos ítems valorados positivamente; según éstos se puede interpretar que es necesario tratar la ley periódica como una ley de clasificación en los dos niveles, una ley que es explicativa y propia de la química (es empírica sólo en bachillerato).

Predicciones, acomodaciones y correcciones

La mayoría de ítems aceptados como convenientes o necesarios están en la segunda categoría, de explicación, aunque en la primera categoría está aceptado el ítem referido a las predicciones exitosas, como sucede en la mayoría de la muestra y en los libros de texto. Las valoraciones de estos ítems son coherentes con las de la pregunta anterior en relación con la importancia del carácter explicativo de la ley periódica.

Razones para enseñar la tabla periódica

Es importante enseñar la tabla periódica como un fin en sí mismo (por ser una representación visual de todos los elementos y porque clasifica los bloques fundamentales de la materia) y como una herramienta didáctica, básicamente porque ayuda a recordar información. Es interesante resaltar los dos bloques definidos que se observan: el primer bloque es el que reúne los ítems relacionados con “recordar” que están valorados positivamente, y el segundo bloque es el que reúne los ítems relacionados con “explicar” mediante instrumentos “abstractos”, que están valorados negativamente.

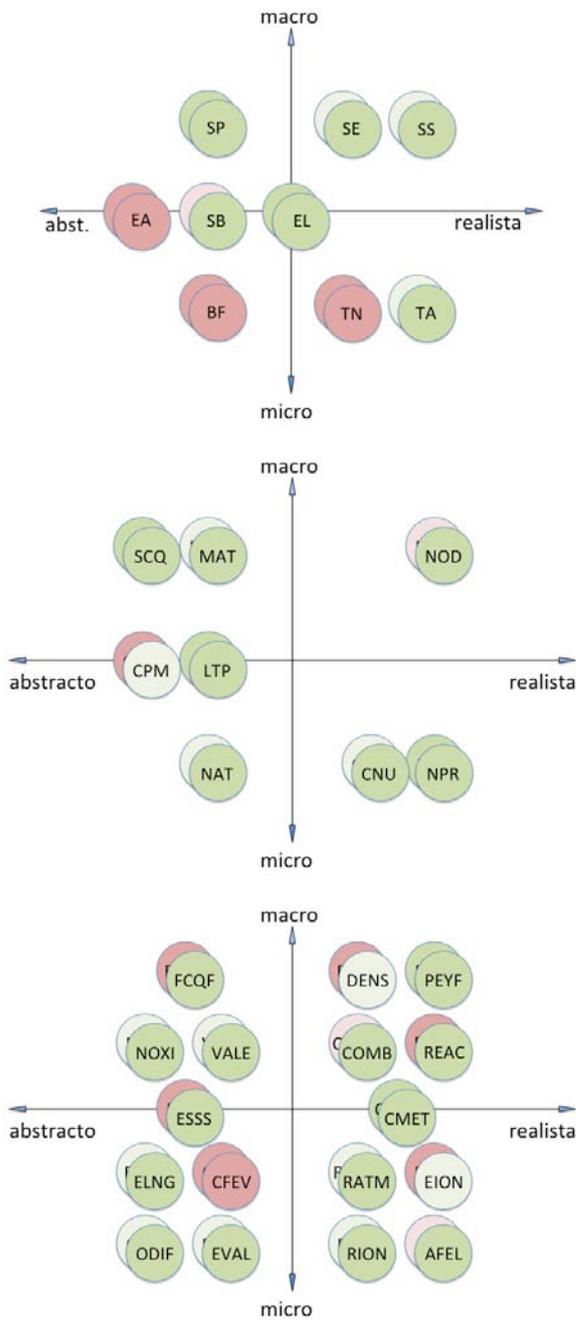
Perfil a partir de las encuestas PE9 y PB9

Elemento químico	Caracterización: átomo físico y químico Periodicidad: Propiedades físicas y químicas macro
Secuencia	No aplica
Formato de la TP	El correcto, es el único actual
Estatus de la LP	Es una ley de clasificación y explicativa, propia de la química
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar información y explicar el comportamiento de átomos y sustancias.

Tabla 63. Perfil de la Persona 9

6.3.10 Persona 10, encuestas PE10 y PB10

Concepción de elemento químico



En cuanto a las etiquetas, coincide con la mayoría en valorar positivamente SP, EL y TA. También coincide en las valoraciones negativas de las etiquetas que están por debajo y a la izquierda de la diagonal que forman las etiquetas anteriores, es decir, las etiquetas EA, BF y TN. La etiqueta SB se valora como necesaria en bachillerato, pero en ESO se valora como poco conveniente. En cuanto a los atributos, la mayoría se aceptan como necesarios o convenientes, excepto dos de ellos en ESO, que son CPM y NOD. En cuanto a las propiedades periódicas no hay una tendencia clara, porque tanto en ESO como en bachillerato hay propiedades valoradas positivamente en los cuatro cuadrantes, sólo constatamos la tendencia que hemos venido observando de que en bachillerato aumenta la cantidad de propiedades que se tienen en cuenta como periódicas. También destacamos una propiedad, CFEV, que no se considera conveniente para ser tratada ni en ESO ni en bachillerato, contrariamente a lo que opina la mayoría respecto a ella.

Caracterización: átomo químico

Propiedades periódicas: propiedades físicas y químicas en general

Figura 70. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 10

Secuencia para introducir la tabla periódica

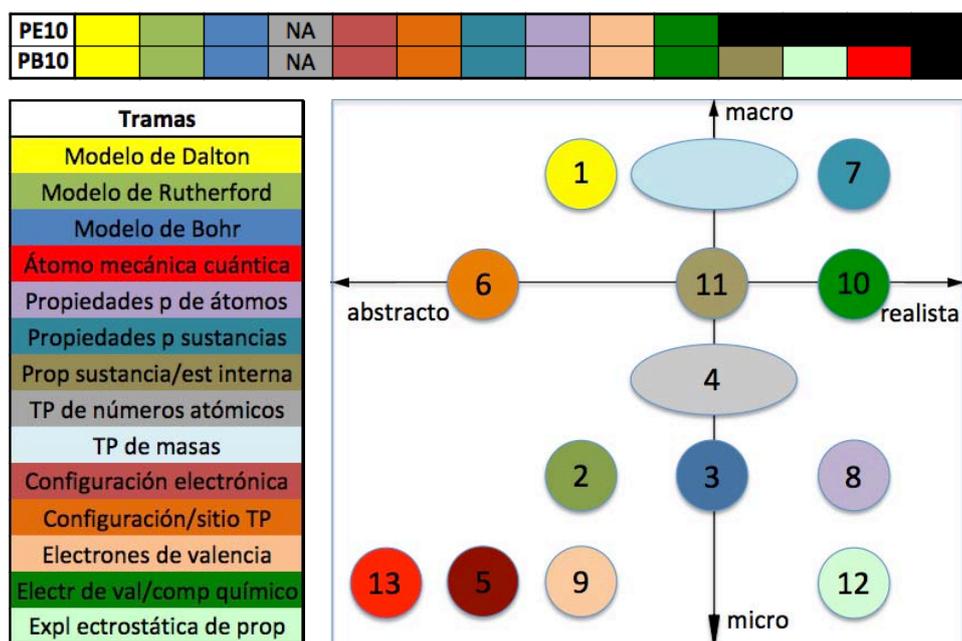


Figura 71. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 10

Aunque las dos secuencias no son exactamente iguales, sólo mostramos el esquema bidimensional de una de ellas, la de bachillerato, porque la de ESO está incluida en ésta. Como se puede ver en el esquema unidimensional de arriba, la única diferencia es que a partir del paso 10, donde acaba la secuencia de ESO (relación entre los electrones de valencia y comportamiento químico), se agregan tres ítems para la de bachillerato. Las dos secuencias comienzan, como la mayoría de las secuencias, con los tres modelos atómicos mayoritariamente usados, el modelo de la mecánica cuántica sólo se agrega al final en la secuencia de bachillerato. No se considera la tabla periódica de masas. En los dos caso, la tabla periódica se usa como tránsito entre el modelo de Bohr y la configuración electrónica, sin cambiar de cuadrante.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

Según nuestra interpretación de estas respuestas, el formato que se usa en clase es necesario presentarlo como el más útil, tanto por las valoraciones de la segunda categoría como por la de la primera, que valora negativamente el hecho de presentarlo como el único actual. En bachillerato, pero no así en ESO, es necesario usar las representaciones tridimensionales de la tabla periódica y mostrar diversos formatos. También son necesarias las triadas y la división por bloques en los dos niveles educativos.

Estatus de la ley periódica

En esta pregunta sólo se valoró el ítem “Es una clasificación”, que se valoró con un 3.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

Los ítems valorados como necesarios están igualmente distribuidos en las dos categorías y en los dos niveles educativos. Es necesario tratar las predicciones exitosas que hizo Mendeleiev y las correcciones de los datos conocidos; pero también es necesario tratar el hecho de que la tabla periódica dio coherencia al conocimiento químico y dio indicios de la existencia de una estructura interna.

Razones para enseñar la tabla periódica

De los ítems valorados, podemos decir que es importante enseñar la tabla periódica porque se trata de una herramienta didáctica, pero también es importante como objetivo en sí mismo. En ESO, la razón más importante para enseñarla es que la tabla periódica sintetiza gran parte del conocimiento químico (es la única valoración con 3); pero también son importantes las razones relacionadas con el hecho de ayudar a explicar, tanto desde el punto de vista abstracto como realista.

Perfil a partir de las encuestas PE10 y PB10

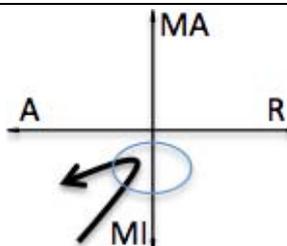
Elemento químico	Caracterización: átomo químico Propiedades periódicas: propiedades físicas y químicas en general.	
Secuencia	La tabla periódica se usa para transitar entre los modelos atómicos y la configuración electrónica sin cambiar de cuadrante	
Formato de la TP	El más útil, por la cantidad de relaciones que muestra. En bachillerato se deben presentar diversos formatos	
Estatus de la LP	Es una ley de clasificación	
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar y explicar la interacción y el comportamiento de las sustancias a partir de su estructura interna y de los átomos.	

Tabla 64. Perfil de la Persona 10

6.3.11 Persona 11, encuesta PB11

Concepción de elemento químico

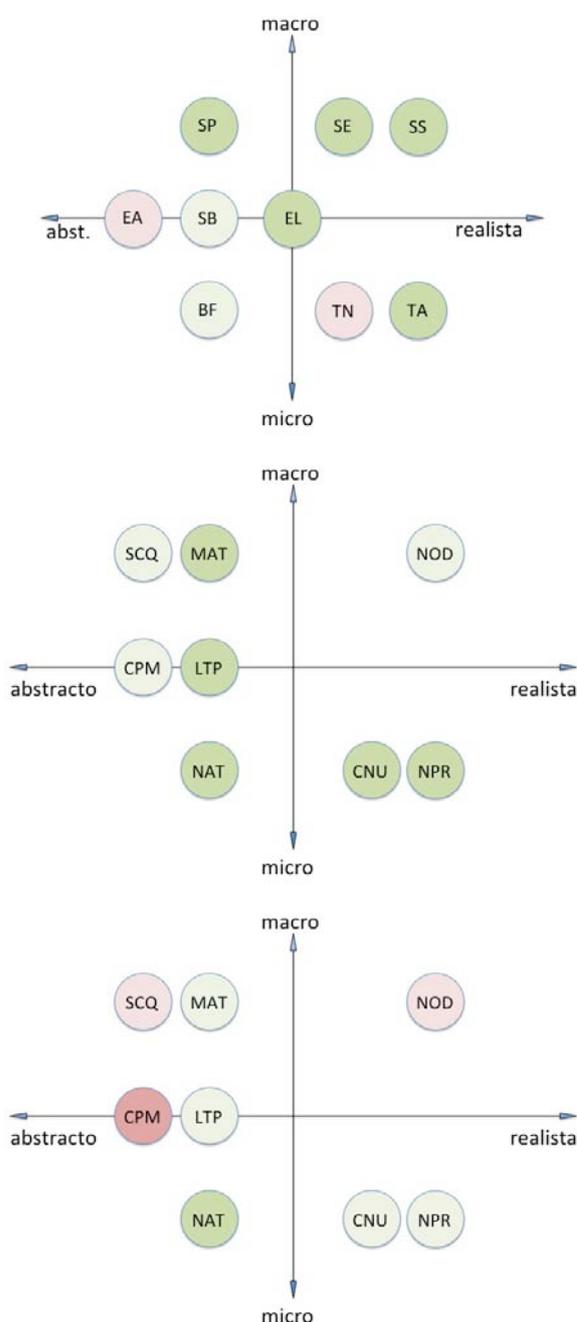


Figura 72. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en bachillerato según la Persona 11

Las respuestas de este cuestionario corresponden sólo a bachillerato ya que no respondió la encuesta relativa a ESO. Tanto las etiquetas, como los atributos y las propiedades periódicas, son en su mayoría aceptadas como convenientes o necesarias. Solamente se valoran negativamente EA y TN como etiquetas, y ODIF como propiedad periódica. Aunque, según el primer esquema parece estar favorecida una visión macroscópica de elemento, los otros dos muestran una visión más compleja, que contempla todos los aspectos.

Caracterización: átomo físico y químico

Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general

Secuencia para introducir la tabla periódica

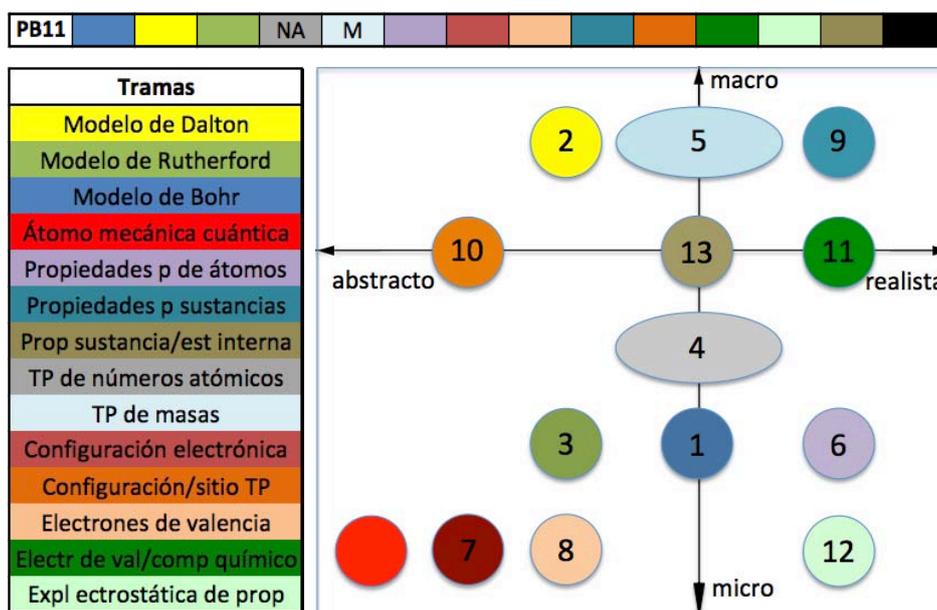


Figura 73. Gráfico sobre la secuencia ideal para introducir la TP en bachillerato según la Persona 11. Esta secuencia comienza, como la mayoría, con los modelos atómicos de Dalton, Rutherford y Bohr, sin considerar el modelo de la mecánica cuántica; pero presenta una particularidad respecto de la mayoría: invierte el orden habitual de la presentación de los modelos atómicos, comenzando por el modelo de Bohr, siguiendo con el de Dalton y posteriormente con el de Rutherford. Después de los modelos atómicos propone las dos tablas periódicas consecutivamente, en un orden también poco habitual, primero la de números atómicos y después la de la de masas. Posteriormente, propone las propiedades periódicas de los átomos y la configuración electrónica. Esta secuencia usa la tabla periódica aprovechando las propiedades atómicas para hacer un bucle que se mantiene en el cuadrante abstracto/micro.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

Los ítems valorados positivamente están distribuidos en dos categorías, la que está relacionada con el formato más exacto y la que está relacionada con el formato más útil. Lo que se puede decir sin ambigüedad es que es poco conveniente presentar el formato que se usa en clase como si fuera el único y no es conveniente presentar un formato determinado como el más exacto; de hecho, se acepta como conveniente la diversidad de formatos, así como las representaciones tridimensionales y, especialmente, la diversidad de relaciones entre los elementos.

Estatus de la ley periódica

El único ítem considerado como necesario es el que propone que la ley periódica es una clasificación y se aceptan 3 ítems como convenientes: los que se refieren a que la ley periódica es una ley explicativa, que es exacta y que ha sido explicada por la mecánica cuántica.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

Las valoraciones están distribuidas en las dos categorías y tiene algunas coincidencias con las tendencias mayoritarias, como por ejemplo el hecho de darle importancia a los indicios de explicación teórica que va aportar tabla periódica o, al hecho de haber permitido hacer predicciones exitosas. Pero también se presentan algunas particularidades respecto a la mayoría como por ejemplo valorar con un 4 el ítem “Sustentar el comportamiento matemático de la materia” y con un 3 el ítem “Sustentar una concepción de elemento químico abstracto e individual”.

Razones para enseñar la tabla periódica

La mayoría de ítems se aceptan como necesarios o convenientes. Es interesante resaltar que uno de los pocos valorados negativamente es “ayuda a explicar la interacción química entre sustancias”.

Perfil a partir de la encuesta PB11

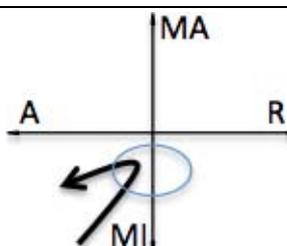
Elemento químico	Caracterización: átomo físico y químico Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general	
Secuencia	La tabla periódica se usa para transitar entre los modelos atómicos y la configuración electrónica sin cambiar de cuadrante	
Formato de la TP	El más útil, por la cantidad de relaciones que muestra.	
Estatus de la LP	Es una ley de clasificación, explicativa y exacta	
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a recordar y explicar el comportamiento de los átomos.	

Tabla 65. Perfil de la Persona 11

6.3.12 Persona 12, encuesta PB12

Concepción de elemento químico

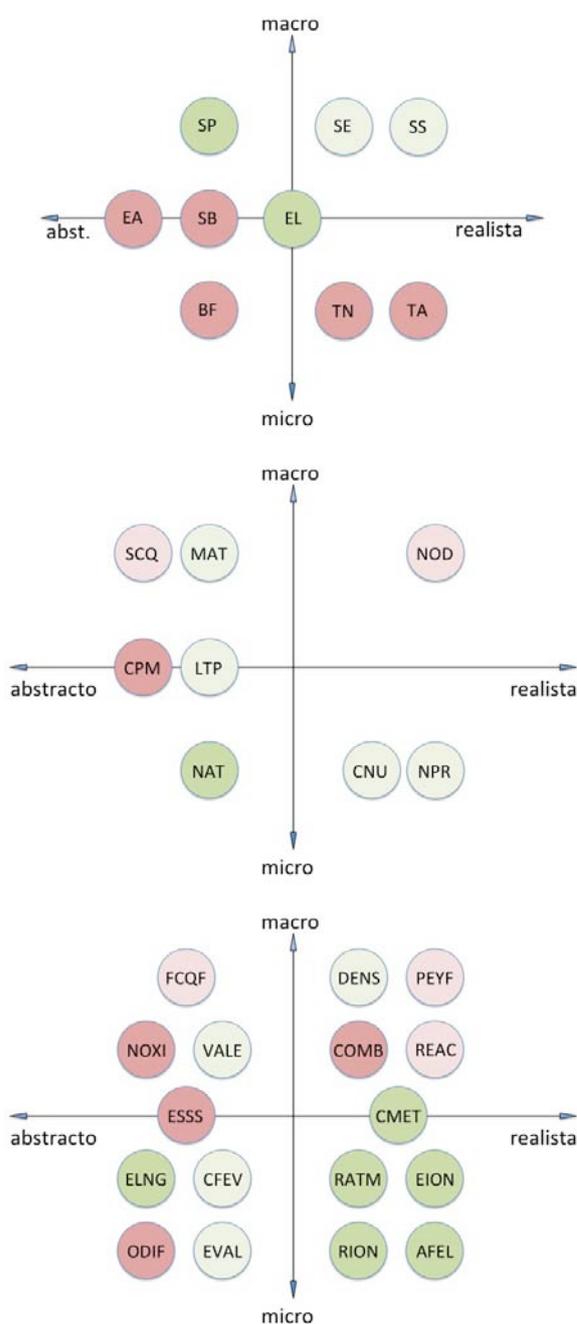


Figura 74. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en bachillerato según la Persona 12

Las respuestas de este cuestionario corresponden sólo a bachillerato ya que no respondió la encuesta relativa a ESO. El primer diagrama muestra una tendencia al uso de etiquetas de los cuadrantes macroscópicos. Como característica diferenciadora de la mayoría, podemos ver la valoración negativa de TA, pues es una de las pocas personas que hace esta valoración para dicha etiqueta. En el segundo diagrama, que se refiere a los atributos, el número atómico es el único que se considera como necesario y los demás aceptados están en los cuadrantes realista/micro y abstracto/macro. Hay atributos con valoración positiva en tres de los cuatro cuadrantes de este diagrama. Parece inconsistente el hecho considerar TN y TA como no convenientes, pero valorar como conveniente CNU y NPR. En el diagrama de las propiedades periódicas se puede ver una tendencia a considerar positivamente las propiedades más relacionadas con la zona micro, concretamente con el cuadrante micro/realista.

Caracterización: indefinida

Periodicidad: átomo físico

Secuencia para introducir la tabla periódica

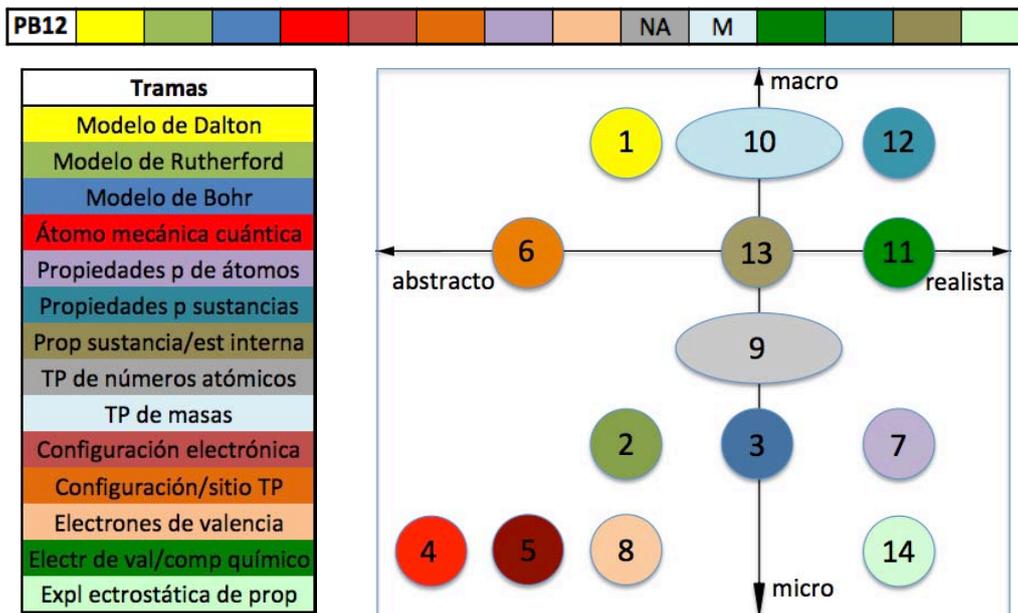


Figura 75. Gráfico sobre la secuencia ideal para introducir la TP en bachillerato según la Persona 12

La secuencia comienza con los modelos atómicos en el orden tradicional, incluyendo el modelo de la mecánica cuántica. La particularidad de esta secuencia es que las tablas periódicas (en el orden contrario al frecuente) están más al final que la mayoría de las que hemos visto. Entre los modelos atómicos y las tablas periódicas se tratan ítems relacionados con el átomo, y los aspectos macroscópicos se colocan después de las tablas periódicas. Al estar presentadas de manera consecutiva, las dos tablas funcionan como un conjunto, y en este caso concretamente se usan como transición entre el cuadrante abstracto/micro y el cuadrante realista/macro.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

El único ítem valorado como necesario es el que corresponde a la división de bloques *s*, *p*, *d*, *f*, pero es el único de su categoría. En la categoría que corresponde a “El formato más útil” están la mayoría de ítems valorados positivamente y, además, el ítem que corresponde al formato presentado como el “único”, en la primera categoría está valorado negativamente.

Estatos de la ley periódica

Parece haber una contradicción entre los dos primeros ítems de cada una de las dos categorías. En todo caso, es claro que se trata de una ley explicada por la mecánica cuántica, que es exacta y que es una ley de clasificación.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

También están repartidos en las dos categorías los ítems valorados positivamente, pero el único que está valorado como necesario es el que se refiere a la existencia del átomo. Por otra parte, es importante resaltar que está valorado como conveniente el ítem relacionado con el comportamiento matemático de la materia, lo cual significa una diferencia importante con la tendencia de la muestra.

Razones para enseñar la tabla periódica

En las respuestas a esta pregunta también encontramos que los ítems bien valorados están dispersos por todas las categorías. Los tres ítems valorados como necesarios son relacionados con las sustancias, su interacción química y su comportamiento, además del comportamiento de los átomos. Hay una categoría destacable, que es la que está relacionada con la explicación a partir de las entidades abstractas.

Perfil a partir de la encuesta PB12

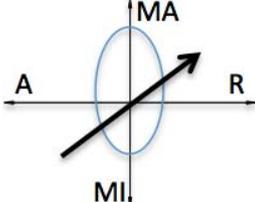
Elemento químico	Caracterización: indefinida Periodicidad: átomo físico	
Secuencia	Las dos tablas se usan como un tránsito entre nivel abstracto/macro de modelos atómicos a las propiedades realista/macro de las sustancias.	
Formato de la TP	El más útil, por la cantidad de relaciones que muestra	
Estatus de la LP	Es una ley de clasificación, exacta. Ha sido explicada por la mecánica cuántica.	
Importancia	Herramienta didáctica que ayuda a explicar la interacción química entre sustancias y el comportamiento de los átomos	

Tabla 66. Perfil de la Persona 12

6.3.13 Persona 13, encuestas PE13 y PB13

Concepción de elemento

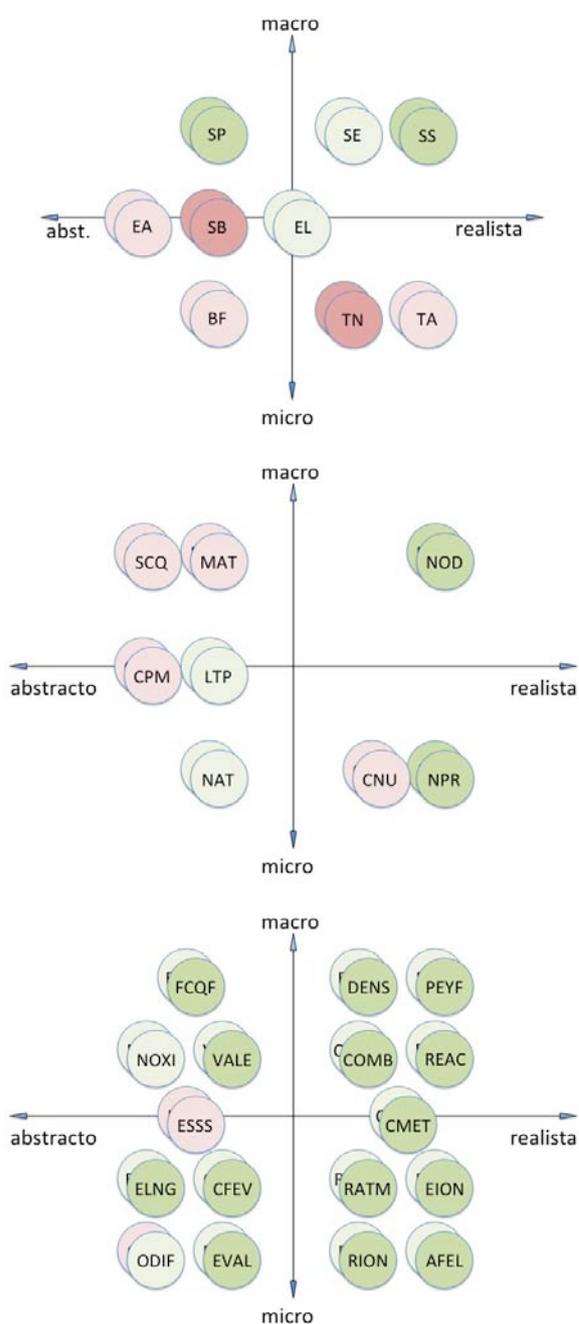


Figura 76. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 13

Los dos primeros esquemas son idénticos para ESO y bachillerato, el que se refiere a las etiquetas muestra un “peso” mayor de las que están en el lado macro del eje ontológico. La particularidad más importante es que la etiqueta TA está valorada como poco conveniente, pues es una de las pocas respuestas de las encuestas en la cual el uso de TA no está valorado positivamente (las otras son PE7, PE9, PB12, PE13 y PB13). El esquema de los atributos no muestra una tendencia clara más allá de que las etiquetas del cuadrante abstracto/macro no están valoradas positivamente. El esquema de las propiedades muestra una visión compleja porque tiene en cuenta casi todas las propiedades propuestas. Las propiedades ESSS, en los dos niveles, y ODIF en ESO, son las única que están valoradas como poco convenientes (no hay ninguna que esté valorada como no conveniente).

Caracterización: átomos químico

Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general

Secuencia para introducir la tabla periódica

No hay información sobre este aspecto porque no obtuvimos respuesta a la pregunta.

Aspectos de la tabla periódica relacionados con el formato

En ESO está más clara la tendencia del formato como el único y el más exacto por las valoraciones negativas de los ítems de la tercera categoría. En bachillerato, al estar todos los aspectos valorados positivamente, no podemos obtener más información diferenciadora

Estatus de la ley periódica

Se nota una tendencia relacionada con que los ítems valorados como convenientes sólo están en la segunda categoría. Se trata de una ley química, de clasificación, que es explicativa y aproximada.

Predicciones, acomodaciones y correcciones

Los únicos ítems valorados como poco convenientes están en la segunda categoría, y se refieren a la estructura interna, lo cual es coherente con el esquema de las propiedades periódicas en el que uno de los dos ítems valorados negativamente en ESO y el único en bachillerato, es ESSS. También se valora negativamente el ítem relacionado con la concepción abstracta de elemento químico.

Razones para enseñar la tabla periódica

Sólo hay un ítem valorado negativamente. No tenemos información para el perfil a partir de esta pregunta, más allá de que todas las razones propuestas son importantes para enseñar la tabla periódica.

Perfil a partir de las encuestas PE13 y PB13

Elemento químico	Caracterización: átomo físico y químico Periodicidad: propiedades físicas y químicas en general
Secuencia	No aplica
Formato de la TP	El único actual
Estatus de la LP	Es una ley química de clasificación, aproximada y explicativa.
Importancia	No aplica

Tabla 67. Perfil de la Persona 13

6.4 Resultados del análisis de las respuestas a las encuestas

En esta sección presentamos los resultados del análisis de las respuestas a las encuestas en dos partes: en la primera parte describimos los resultados del análisis global a partir de las tablas de frecuencias elaboradas para cada pregunta y una caracterización general de la muestra; y en la segunda parte describimos los resultados del análisis individual y una caracterización de los perfiles que construimos a partir de éstos.

6.4.1 Resultados del análisis global

Siguiendo el orden de las preguntas que configuran la encuesta, comenzamos resaltando las ideas más interesantes sobre la información que nos dan las tres primeras, con las cuales elaboramos las ‘visiones’ de elemento químico, continuaremos con ideas sobre la secuencia, sobre el posicionamiento ante la cuestión de los formatos, el carácter de la ley periódica y, finalmente, algunas consideraciones sobre las razones para enseñar la tabla periódica.

Discusión sobre la ‘visión’ de elemento (etiquetas, atributos y propiedades periódicas):

Las respuestas a las dos primeras preguntas muestran mayor pluralidad de etiquetas y de atributos usados que en los libros de texto. En el diagrama bidimensional de las etiquetas (figura 45) se puede ver una tendencia al uso mayoritario de aquellas que se refieren a los átomos de los elementos (*clase, tipo o especie de átomo*) y las que se refieren a las sustancias macroscópicas, tanto en el lado abstracto (*sustancia pura*) como en el lado realista (*sustancia simple*) de la dimensión ontológica. Las etiquetas menos favorecidas por las valoraciones son las etiquetas que están colocadas en el lado izquierdo e inferior del diagrama, es decir, hacia el cuadrante abstracto/micro. Esto indica una tendencia a descuidar el componente abstracto del elemento, sobretodo si tenemos en cuenta que la etiqueta que lo menciona explícitamente (*entidad abstracta*) sólo fue valorada positivamente por dos personas (una con un 3 y otra con un 4).

La tendencia general muestra valoraciones positivas para las etiquetas *sustancia simple* (SS) y *clase, tipo o especie de átomo* (TA), que son las más características de los cuadrante macro/realista y micro/realista, respectivamente. Pero al comparar las valoraciones que muestra cada una en la tabla de frecuencias, vemos que el cambio de TA al pasar de ESO a

bachillerato es más importante, porque pasa de no tener ninguna valoración como “necesaria” a tener 6 valoraciones como “necesaria”, mientras que SS pasa de tener 3 valoraciones como “necesaria” a tener 6.

El diagrama bidimensional de las respuestas a la pregunta sobre los atributos (figura 46) muestra algunas tendencias que parecen inconsistentes con las de la pregunta anterior sobre las etiquetas, pero también muestra algunas que son consistentes. En primer lugar, se puede ver que hay una tendencia a la valoración positiva de los atributos del lado micro del diagrama, pero también se observa que hay bastante división de opiniones en cuanto a los atributos de carácter abstracto; incluso se ve una tendencia a las valoraciones negativas para el atributo *carece de propiedades macroscópicas*, en ESO, que es de carácter marcadamente abstracto, y que también refuerza esta ausencia que señalábamos antes en las etiquetas. Además, a pesar de la cantidad de valoraciones positivas, hay dos atributos que no acaban de generar consenso y que son importantes en la caracterización química del elemento, éstos son *sobrevive al cambio químico* y *se caracteriza por la masa atómica*.

Es evidente, y coincidente con lo que encontramos en los libros de texto, la unanimidad en los siguientes atributos: *se caracteriza por su lugar en la tabla periódica*, *se caracteriza por el número de protones* y *se caracteriza por el número atómico*.

El diagrama de las propiedades periódicas (figura 47) muestra una presencia más distribuida por los cuatro cuadrantes, más diversidad de opinión en ESO (aunque la distribución favorece un poco más la parte macro del esquema) y más unanimidad en bachillerato, con el consecuente aumento de complejidad en la visión de elemento que se refleja en ello, tal como lo encontramos en los libros de texto.

Discusión sobre las secuencias para introducir la tabla periódica:

Las secuencias, en la mayoría de los casos, plantean los modelos atómicos antes de las tablas periódicas, tal como lo encontramos en los libros de texto, describiendo en la mayoría de los casos el modelo de Dalton, al principio, seguido del modelo de Rutherford y continuando con el de Bohr. El modelo de la mecánica cuántica se plantea algunas veces después del de Bohr, especialmente en bachillerato, puesto que en ESO se propone en pocas secuencias.

Las dos tablas periódicas se presentan consecutivamente en la mayoría de los casos, empezando por la tabla periódica de masas atómicas, y generalmente las propiedades periódicas de las sustancias se plantean después de éstas. No hay ninguna secuencia en la que las dos tablas estén separadas por el planteamiento de alguno de los modelos atómicos o de alguno de los otros ítems, como sí sucede en algunos (pocos) libros de texto. Esto hace que el orden de la secuencia, generalmente, se presente de la siguiente manera: modelos atómicos provisionales, modelos atómicos válidos, tabla periódica provisional, tabla periódica válida y validación de ésta (ya sea mediante propiedades de átomos individuales o mediante propiedades de sistemas de átomos como las sustancias macroscópicas).

Discusión sobre la cuestión del formato:

En las respuestas a la siguiente pregunta, sobre los formatos, se nota una mayor flexibilidad en el uso de diversas representaciones de la ley periódica en las respuestas de los profesores que en los libros de texto. Hay más valoraciones positivas en los ítems que están agrupados en la categoría que se refiere a la utilidad del formato, e incluso hay consenso en la respuesta al ítem que pregunta directamente por el uso de otros formatos. Además, hay una clara tendencia a valorar negativamente el planteamiento de una versión de tabla periódica como “la única actual”. En este sentido, se nota menos consenso en cuanto a mostrar diversas relaciones entre elementos, además de las tradicionales de grupo y bloques.

Discusión sobre el estatus epistemológico y aportaciones de la ley periódica:

No hay una tendencia clara en cuanto al estatus de la ley periódica, hay gran variabilidad de opiniones y las tendencias son dispersas. Además hay una ambigüedad, incluso algunas veces dentro de las respuestas de la misma persona, entre el carácter de exacta o de aproximada que puede tener la ley periódica. Lo único que es evidente y que coincide con los libros de texto, es que se trata de una ley de clasificación. También parece bastante claro que en la ESO no se debe enseñar como una ley explicada por la mecánica cuántica pero en bachillerato sí.

Las tendencias coinciden con los libros de texto en cuanto a la necesidad de tratar las predicciones exitosas de Mendeleiev como uno de los aspectos que influyó en la aceptación

de la tabla periódica, pero también se tienen en cuenta otros aspectos que no encontramos en los libros como el haber dado indicios tanto de la existencia de una estructura interna de los materiales como de explicaciones teóricas de los hechos químicos. También señalábamos en el análisis el consenso que hay en las valoraciones negativas para el ítem que habla de la concepción abstracta de elemento que podría haber sustentado la ley periódica.

Discusión sobre las razones para enseñar la tabla periódica:

Las razones que son más importantes para enseñar la tabla periódica son difíciles de extraer de las respuestas, pues son bastante uniformes. La mayoría de las etiquetas propuestas están generalmente bien valoradas. Lo único que podemos decir de las tendencias, teniendo en cuenta las pocas que son negativas, es que normalmente los profesores opinan que se enseña más porque es una herramienta didáctica que un fin en sí mismo.

La comparación entre esta amplia aceptación de razones importantes para enseñar la tabla periódica y la ausencia de las mismas razones, expresadas de manera explícita en los libros de texto, nos lleva a una idea sobre la que profundizaremos en el siguiente capítulo. Notamos que la tabla periódica parece tener una aceptación tan amplia entre los químicos y los profesores, y que a muchos nos parece que tiene una importancia tan evidente, que no la hacemos explícita a los estudiantes de manera clara y concreta o lo hacemos de forma genérica alabando su importancia general, o intentando mostrar la utilidad que tiene en cuanto a la facilidad que aporta para clasificar información de manera exacta, escondiendo así la riqueza que tiene. Tal vez, se hace con la intención de que no parezca ambigua, o de que la ley periódica no quede desfavorecida en la comparación que los alumnos puedan hacer con otras leyes que son más exactas, como las leyes de la física.

6.4.2 Resultados del análisis individual

Como se puede ver en los diferentes perfiles, algunos de los cuales están incompletos porque no todas las personas respondieron la encuesta totalmente, nos hemos encontrado con algunas inconsistencias entre las interpretaciones de los diagramas de las tres primeras preguntas (con las cuales configuramos una visión de elemento). Es por esto que con dichos perfiles no nos atrevimos a formular “relatos” característicos y nos limitamos a clasificar las secuencias, según las categorías que mostramos a continuación, en la tabla 68

Para clasificar las secuencias utilizamos el diagrama condensado que aparece en cada uno de los perfiles de las encuestas en las cuales obtuvimos respuesta a la pregunta en cuestión porque, como ya se ha visto, algunas personas no contestaron esta pregunta. Los esquemas tienen la misma notación que los otros que hemos utilizado antes, es decir, el óvalo en el lado “micro” del diagrama se refiere a la tabla periódica de números atómicos, el óvalo en el lado “macro” se refiere a la tabla periódica de masas atómicas (que en este caso no aparece individualmente en ninguno de los casos) y el óvalo más alargado, que está colocado en el centro, se refiere a las dos tablas periódicas cuando se tratan consecutivamente, lo cual en los libros suele significar que se usan conjuntamente como una sola, de la manera que lo hemos descrito en el capítulo 5.

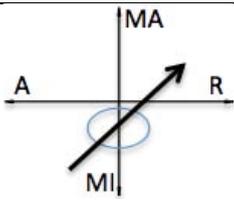
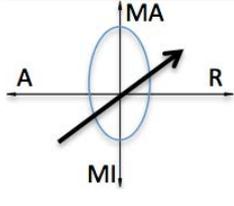
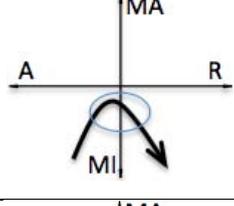
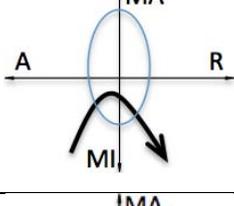
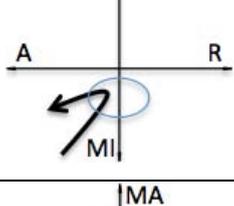
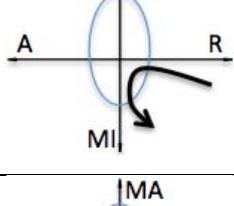
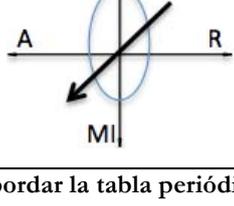
Secuencias que abordan las tablas periódicas desde los aspectos abstractos	La TP se usa para relacionar entidades micro con entidades macro	Se usa sólo la tabla periódica de números atómicos		
		Se usan las dos tablas como un conjunto		
	La TP se usa para relacionar entidades micro con entidades micro	La secuencia cambia de abstracto a realista	Sólo se usa la tabla periódica de números atómicos	
			Se usan las dos tablas periódicas como un conjunto	
		La secuencia no cambia de cuadrante		
Desde aspectos realistas	La TP se usa para relacionar entidades micro/realistas			
	La TP se usa para relacionar entidades macro/realistas con micro/abstractas			

Tabla 68. Diagramas condensados de las secuencias según la forma de abordar la tabla periódica

Como se puede ver, las secuencias están clasificadas en dos tipos, de la misma manera como lo hicimos con las que encontramos en los libros de texto: las secuencias en las que las tablas periódicas se abordan desde los conceptos abstractos y las secuencias en las que las tablas periódicas se abordan desde los conceptos realistas. Todas las secuencias del primer tipo comienzan desde el nivel micro y, entre ellas, encontramos dos subgrupos: las

secuencias que se quedan en el nivel micro y no cambian de nivel en la dimensión ontológica; y las secuencias que usan la tabla periódica (o las dos tablas periódicas) para transitar entre el nivel micro y el nivel macro.

La gran mayoría de las secuencias que encontramos abordan la tabla periódica desde las entidades micro y abstractas. Algunas mantienen el relato en el mismo cuadrante y otras usan las tablas periódicas para hacer la transición de nivel. Unas cambian en las dos dimensiones, al usar la tabla periódica para relacionar entidades micro/abstractas con entidades macro/realistas, pero otras sólo cambian en una dimensión, al pasar de micro/abstracto a micro/realista.

Encontramos un sólo caso en el que se aborda la tabla periódica desde las entidades macroscópicas, desde el cuadrante macro/realista y se usa la tabla periódica (las dos de manera conjunta) para transitar al cuadrante micro/abstracto.

Capítulo 7

Discusión de resultados y respuesta a las preguntas de investigación

En este capítulo presentamos la discusión de resultados y la respuesta a las preguntas de investigación. Está estructurado en dos partes: En la primera parte hacemos una comparación entre los resultados de los análisis que hicimos en los capítulos anteriores; a saber: el análisis de artículos en el capítulo 3, el análisis de libros de texto en el capítulo 5 y el análisis de las encuestas en el capítulo 6. En la segunda parte abordamos el problema que nos habíamos planteado y respondemos las preguntas de investigación.

7.1 Comparación de los resultados de análisis

Para comparar los resultados de los capítulos anteriores retomaremos los esquemas bidimensionales con los cuales habíamos interpretado las tablas de frecuencias de cada una de las preguntas y, a la luz de estos, comparamos el análisis de las tres “muestras”. Esto lo presentamos en dos partes: en la primera nos referimos a las tendencias generales y en la segunda a los perfiles individuales.

7.1.1 Tendencias generales

A continuación, presentamos la comparación de las tres muestras a partir de cada pregunta de la encuesta.

Discusión sobre las etiquetas que se usan para referirse a los elementos químicos

El primer núcleo conceptual que identificamos en la muestra de artículos gira alrededor del concepto de elemento y uno de los principales aspectos de éste, que los investigadores señalan como problemático, es la polisemia del término, que está relacionada no sólo con la evolución que ha tenido a lo largo de la historia, sino también, e íntimamente relacionado con ello, con los diversos niveles de significación que representa (López, Dulce y Furió-Mas 2005; Schmidt 2000; Caamaño 2011; Linares y Izquierdo-Aymerich 2007). Esto hace que exista una pluralidad de palabras para hacer referencia a las entidades elementales, de manera pertinente o no según el contexto en el que se trata.

Es por esto, como lo explicamos en el diseño de la encuesta, en el capítulo 4, que nos pareció importante saber cuáles palabras usan los profesores y los libros de texto para referirse a los elementos químicos. Además, como también lo explicamos al describir el diseño de los instrumentos, si la palabra elemento es polisémica, cada uno de los términos de uso habitual hace referencia a unos significantes determinados y esto es lo que quisimos reflejar en los esquemas bidimensionales que usamos aquí para comparar los resultados, de la misma manera como lo hacemos con todas las preguntas siguientes.

Los esquemas que hemos analizado por separado en los dos capítulos anteriores son:

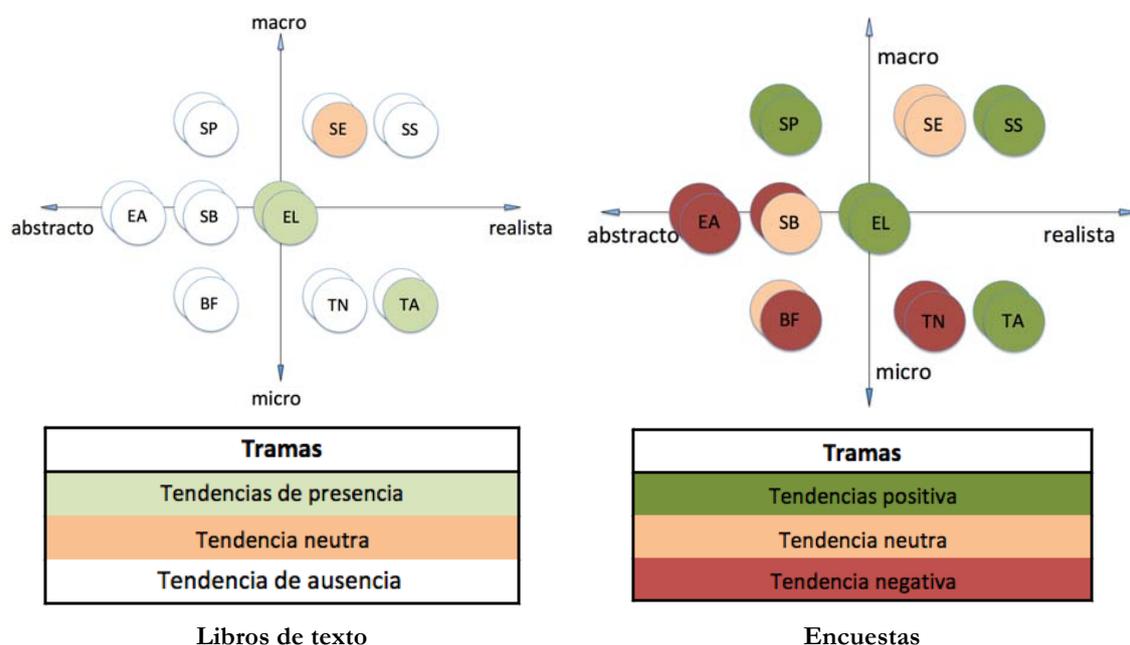


Figura 77. Tendencias observadas en el uso de etiquetas de "elemento químico" en los libros de texto y las encuestas

Como ya lo habíamos mencionado antes, lo primero que se hace evidente es que hay una mayor cantidad de etiquetas valoradas positivamente, es decir, como necesarias o como pertinentes, en las respuestas de las encuestas que en los libros de texto, implícitas o explícitas. Esto es más notorio aún si consideramos las etiquetas de color naranja que indican que al menos hay algunas personas que las han valorado positivamente al responder las encuestas. Podemos ver, por ejemplo, que etiquetas como *sustancia pura* (SP) y *sustancia simple* (SS) muestran una tendencia positiva tanto en ESO como en bachillerato para las encuestas, pero no están presentes en la mayoría de los libros. Sucede algo similar con la etiqueta *sustancia básica* (SB), que algunos profesores valoran positivamente en bachillerato

pero no está presente en la mayoría de los libros de texto; o con las etiquetas *clase, tipo o especie de átomo* (TA) y *sustancia elemental* (SE), que no aparecen en la mayoría de los libros de ESO pero sí fueron valoradas positivamente por algunos profesores en dicho nivel educativo.

En el capítulo anterior afirmábamos que en los libros de texto es más frecuente encontrar estas etiquetas en los primeros capítulos, en los cuales se suelen presentar las definiciones y diferenciaciones entre los tipos de materia y, por lo tanto, en dichos capítulos se puede reconocer más fácilmente el posicionamiento de un texto respecto al uso de etiquetas para referirse al elemento químico. Pero en los capítulos posteriores, y concretamente en el que analizamos aquí, es más frecuente encontrar el uso polisémico de la palabra *elemento*. Como hemos descrito en los casos correspondientes, encontramos unos textos más rigurosos que otros en este sentido; pero el análisis nos muestra que en general, cuando se trata la tabla periódica, este uso polisémico es frecuente y se refleja en la poca variedad de etiquetas que aparecen. Esto puede deberse muchas veces al ahorro de espacio, o a la intención de ofrecer una lectura más fluida, porque es más largo y puede parecer excesivo escribir, por ejemplo, “los átomos de los elementos” en vez de “los elementos”; pero es claro que, aunque para los iniciados es suficiente el contexto narrativo, para los aprendices no lo es porque se trata de un contexto alejado de su percepción y de su lenguaje. Para los iniciados puede ser muy claro que cuando un texto pone, por ejemplo, que “un elemento tiene cinco electrones de valencia”, no está hablando del mismo nivel ontológico que cuando pone “la densidad de un elemento”, pero esto, para un aprendiz, puede llegar a ser bastante confuso y evidencia la “incomunicación” entre la ciencia erudita y la ciencia escolar (Galagovsky y Agustín Adúriz-Bravo 2001).

Los resultados nos muestran que los profesores encuestados parecen hacer un uso más diferenciado de estos términos, o al menos consideran que es importante hacerlo. Podemos ver, por ejemplo, que las etiquetas *sustancia pura, sustancia simple* y *clase, tipo o especie de átomo* son tenidas en cuenta como necesarias, tanto en ESO como en bachillerato. Pero lo que sí echamos en falta, tanto en los libros de texto como en las respuestas de los profesores, es la utilización de etiquetas para referirse al elemento químico como una entidad abstracta. Nos parece importante llamar la atención sobre esto, que además se hace evidente en varios aspectos de los que analizamos, no sólo porque forma parte de la conceptualización de la entidad elemento químico, sino porque podría ser de ayuda para la comprensión de éste y

los diversos niveles de significación, además de servir para ayudar a comprender la riqueza e importancia de la tabla periódica, más allá de la idea limitada de organización o clasificación de átomos (o de sustancias).

Hemos visto que aunque no hay una tendencia general en el uso de etiquetas que indique un mayor “peso” de uno de los cuatro cuadrantes, sí podemos decir que en los dos casos (encuestas y libros de texto) hay uno de los cuadrantes que tiene menor presencia, que es el micro/abstracto. También podemos observar que en los dos casos, el cambio de ESO a bachillerato no es muy acuciado, especialmente en las encuestas; en los libros de texto al menos aumenta la presencia de las etiquetas *sustancia elemental* y *clase, tipo o especie de átomo*.

En el contexto de la investigación teórica, como hemos señalado, se evidencia la confusión lingüística que genera la existencia de una pluralidad de definiciones de elemento y sus diversas combinaciones. Hemos citado trabajos en los que se proponen definiciones diversas, en los que se adaptan unas de ellas para un nivel escolar determinado, trabajos en los que se critican las definiciones que proponen otros autores, etc. En los artículos encontramos diversas etiquetas como “tipo de átomo”, “clase de núcleo”, “sustancia básica”, y “sustancia elemental”, o la que usa Nelson (2006), por ejemplo, pensada para introducir la química en el nivel macroscópico: “tipo básico de materia”; o las recomendaciones de Caamaño (2011): el uso de “sustancia elemental” en el nivel macroscópico y de “elemento” en el nivel submicroscópico.

En este mismo sentido, Schmidt (2003) señala la importancia de la interacción entre los conceptos y sus etiquetas, sobretodo cuando se trata de conceptos que han cambiado con el paso del tiempo y con la transformación del conocimiento en general, como es el caso paradigmático del elemento; y que, como pasa con diversos conceptos químicos, el cambio sucede al pasar de un nivel fenomenológico, más antiguo, a un nivel de partícula, actual.

En el grupo de artículos en los que se proponen actividades se denuncia el mal uso que se hace de las etiquetas en los libros de texto (Caetano da Rocha y Cavicchioli 2005; Lacerda, Campos y Marcelino-Jr 2012; Mans 2009). Raviolo (2009), que también propone una definición con la etiqueta “clase de partículas”, resalta el uso acrítico de etiquetas como “unidad fundamental”, “entidad elemental”, etc.

Tanto en los artículos teóricos como en los que proponen alguna actividad, es frecuente encontrar alusiones al texto de una conferencia dictada en 1931 por F. Paneth (2003), en la que hizo un aporte significativo para aclarar la confusión que estaba causando el descubrimiento de una gran cantidad de isótopos a principios del siglo XX y que sembraba dudas sobre el sistema periódico y la conceptualización del elemento químico. Como ya lo hemos mencionado antes, la diferenciación entre “basic substance” y “simple substance” (traducciones de los términos *Grundstoff* y *einfacher Stoff*, respectivamente, usados por Paneth) fue clave para rescatar el carácter abstracto del elemento que había usado Mendeleiev y mantener la unicidad de cada casilla en el sistema periódico, a pesar de la pluralidad de isótopos descubiertos, o potencialmente existentes, que a principios del siglo XX parecían desvirtuar el sistema periódico.

Como reflexión final sobre el uso de las etiquetas, consideramos que los profesores encuestados otorgan importancia al uso de diversas etiquetas, pero en los libros de texto (con algunas excepciones) se perpetua el uso indiscriminado del término *elemento*, tanto para referirse a las sustancias elementales como a los átomos de los elementos. Si además, como hemos visto, la retórica usada refuerza el carácter atómico, esto puede favorecer el hecho de que los alumnos-lectores tiendan a relacionar las entidades elementales con los átomos que aparecen descritos con detalle y sobre los cuales se acaba refiriendo la tabla periódica, es decir, con el átomo físico.

Discusión sobre los atributos de los elementos químicos

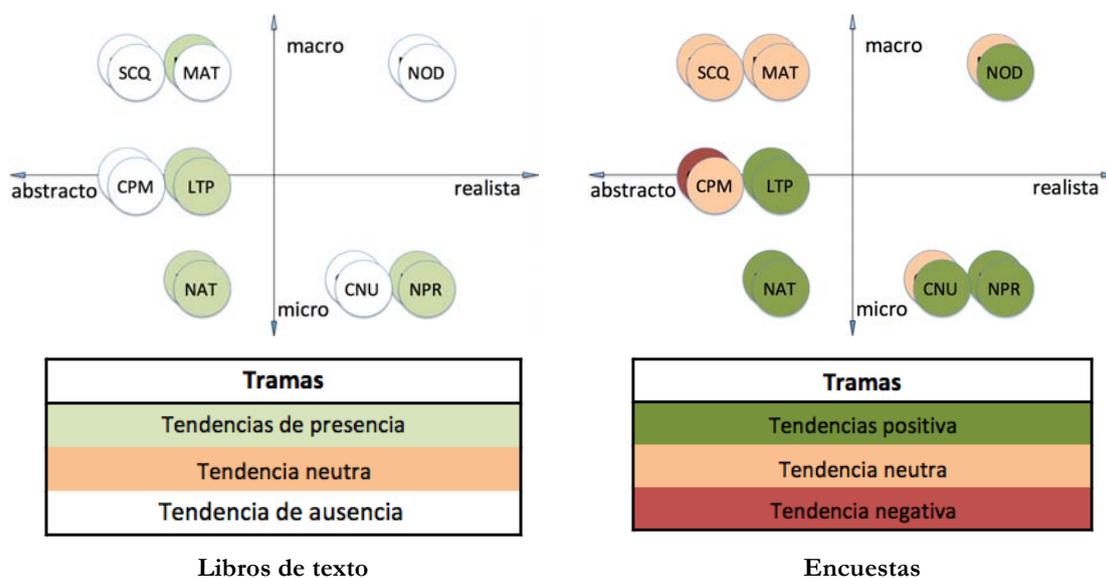


Figura 78. Tendencias observadas sobre el uso de atributos en los libros de texto y las encuestas

Tal como sucede con las etiquetas, también podemos ver una mayor presencia de atributos en las encuestas que en los libros de texto. Los diagramas también hacen evidente que en los dos niveles educativos, tanto para los textos como para las personas que contestaron la encuesta, los atributos más importantes son: *lugar en la tabla periódica* (LTP), *número atómico* (NAT) y *número de protones* (NPR).

Es interesante resaltar, en la misma línea de lo que observábamos en la discusión anterior sobre las etiquetas, que en los dos esquemas que muestran los atributos se nota la falta de uso del atributo que da más carácter abstracto a la entidad elemento químico: el que propusimos como *carece de propiedades macroscópicas* (CPM). Es más importante aún la poca frecuencia de uso de los atributos macroscópicos, también abstractos, que le dan más carácter químico a las entidades elementales, como son *masa atómica* (MAT) y *sobrevive al cambio químico* (SCQ). Esto, además de lo que señalamos en el párrafo anterior, le da al concepto de elemento un carácter más cercano al de átomo físico, que de elemento abstracto y de átomo químico.

En cuanto a los cambios que se presentan al pasar de ESO a bachillerato, notamos un aumento de los atributos valorados positivamente en las encuestas. Los atributos *no se puede descomponer por medios químicos* (NOD), *se caracteriza por la carga nuclear* CNU y *carece de*

propiedades macroscópicas (CPM) aumentan de valoración al cambiar de nivel. Pero en los libros no sucede lo mismo; sólo cambia un atributo y lo hace en sentido contrario (disminuye su presencia), nos referimos al atributo *se caracteriza por la masa atómica* (MAT) que, como explicábamos antes, se suele dejar a un lado después de explicar la tabla periódica de masas para darle importancia al número atómico como criterio de ordenación, cuando se presenta la “nueva” ley periódica que, en los “relatos” habituales, es la que funciona correctamente. Frecuentemente se suele retomar la masa atómica promedio unas secciones más adelante, al usar la tabla periódica como fuente de información para el cálculo de las masas moleculares en la realización de los cálculos estequiométricos, en un contexto en el que muchas veces la periodicidad ha perdido énfasis y es el carácter “clasificador” de la tabla periódica el que predomina, presentando así la masa atómica como un dato más de los que se pueden consultar en las casillas de la tabla periódica.

En los artículos teóricos, de la misma manera que encontramos toda la variedad de etiquetas mencionadas antes, también encontramos los diversos atributos que usamos en la plantilla para los libros de texto y en la encuesta para los profesores. La mayoría de artículos que tratan los atributos de elemento lo hacen para resaltar el carácter abstracto del concepto y para aportar ideas con el fin de ayudar a la comprensión de estas entidades. Para Ghibaudi (2013), por ejemplo, los elementos están caracterizados, en definitiva, por un nombre, un símbolo, un núcleo atómico y una posición en la tabla periódica; y además no exhiben propiedades macroscópicas. Nelson (2006) utiliza los siguientes atributos: *sustancia que no experimenta descomposición química ni se forma por composición química* y *sustancia básica que puede interconvertirse sin cambiar la masa*. Con ello resaltar el fenómeno de la alotropía y marcar la diferencia entre sustancia elemental y elemento (como tipo de materia básica), al mismo tiempo que proporcionar una definición para enseñar química desde el nivel macroscópico.

De la misma manera que la propuesta de Paneth sobre el carácter dual del concepto de elemento ha influido en el uso de las etiquetas que encontramos en los artículos de la muestra, también ha influido en el uso de los atributos que señalan los diversos niveles ontológicos y epistemológicos por los que transita el concepto de elemento. Esta propuesta es citada, por ejemplo, para caracterizar la entidad elemental como *portadora de propiedades e inobservable* (Scerri 2000b), o para resaltar el carácter formal y sistémico del concepto de

elemento, caracterizándolo como una clase de núcleo en la que todos los átomos tienen el *mismo número atómico* (Ghibaudi, Regis y Roletto 2013).

En los artículos didácticos que proponen actividades, también encontramos diversos atributos pero los que más se usan son aquellos que también aparecen más frecuentemente en los libros de texto, a saber: *se caracteriza por su lugar en la tabla periódica, se caracteriza por el número atómico y se caracteriza por el número de protones*. Es frecuente encontrar, por ejemplo, la referencia de la definición de la IUPAC (2006) para caracterizar los elementos con el *número de protones en el núcleo*.

En algunos casos, que consideramos pocos en comparación con la importancia que señalan los artículos teóricos, se hacen propuestas para las clases que consideran el carácter dual del elemento químico (Franco-Mariscal, Oliva-Martínez y Bernal-Márquez 2009; Segura, Valls y Martí 2010; Caamaño 2011; Mans 2009).

En definitiva, los tres atributos más utilizados son: LTP, NAT y NPR. De ellos, NPR está más cercano a la visión de elemento de átomos físico y LTP está más cercano a una visión simbólica. Por otra parte, la interpretación que podemos hacer del uso de NAT a partir de las encuestas es más ambigua porque no podemos saber si una persona que la considera está pensando en el número atómico como una posición ordinal, como la cantidad de protones en el núcleo, o ambas cosas.

Discusión sobre las propiedades periódicas de los elementos

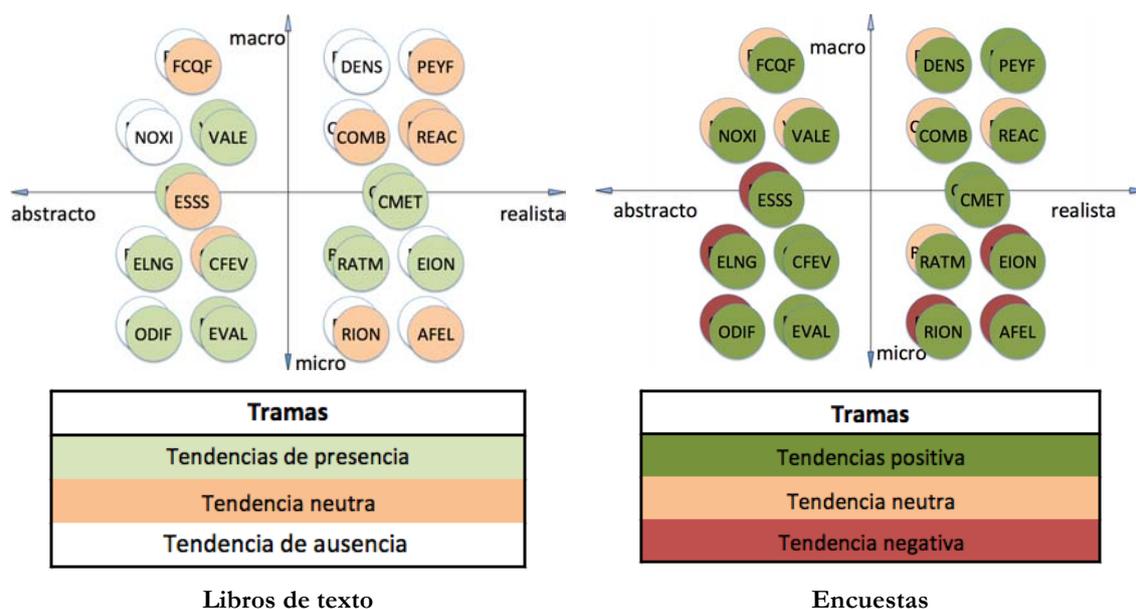


Figura 79. Tendencias observadas sobre las propiedades periódicas en los libros de texto y las encuestas

Lo más evidente de los dos diagramas es que en las encuestas hay unanimidad sobre la necesidad de usar todas las propiedades que ofrecimos para la selección, al menos en bachillerato. En los libros de texto no sucede lo mismo porque, incluso en bachillerato, hay algunas propiedades que no aparecen en la mayoría de ellos. Tanto en las encuestas como en los libros de texto se nota una menor pluralidad de propiedades para el nivel de ESO que para el nivel de bachillerato.

No hay tendencias definidas en ninguno de los cuadrantes, aunque podemos notar que el cuadrante macro/realista en los libros está desprovisto de color verde. Las únicas propiedades que tienen un consenso positivo en los dos diagramas, y en los dos niveles escolares, son el carácter metálico y los electrones de valencia.

El carácter metálico, aunque suele estar presente en la mayoría de libros (sólo en un libro no lo encontramos), generalmente está expresado de diversas maneras. Puede estar expresado en relación con propiedades de los átomos (ganar y perder electrones, por ejemplo), en relación con propiedades físicas macroscópicas (el brillo, la maleabilidad, etc.), puede estar expresado en relación con propiedades químicas macroscópicas (oxidación con aire húmedo, por ejemplo) y puede estar expresado en relación con propiedades químicas

microscópicas (valencias). En este sentido, tuvimos un fallo al diseñar la encuesta y al aplicarla. En los libros pudimos tener en cuenta estas diferencias en el momento de valorar las tendencias e identificar los aspectos que consideran al tratar el carácter metálico; pero en las encuestas no fue así, porque no lo habíamos considerado antes de aplicarlas y no especificamos los diversos sentidos de esta propiedad; por lo tanto, no nos queda claro en cuáles de estos aspectos está pensando un profesor cuando valora el carácter metálico.

La mayoría de las propiedades que cambian de tendencia entre ESO y bachillerato (tanto en las encuestas como en los libros de texto) lo hacen mostrando un aumento de consideración, pero hay una que cambia en sentido contrario, la *estructura interna de las sustancias simples*; esto sucede en los libros de texto pues en las encuestas sigue el patrón de las otras propiedades. Aunque en algunos libros de bachillerato se tratan las estructuras internas en relación con la periodicidad, en otros, esto se trata en un contexto desligado a ella. Resaltamos esta idea, no sólo por la tendencia contraria que se ve en la muestra de los libros respecto a la de las encuestas, sino también porque es un aspecto clave en la comprensión de la relación entre comportamiento y estructura. En este sentido, el estudio de la periodicidad puede dar pistas para trabajar la modelación de las estructuras internas, no sólo a partir de los tipos de enlaces (generalmente iónico y covalente) que es como se suele tratar en los libros de texto, sino también utilizando el nivel ‘meso’ y el mol como entidad teórica para razonar sobre los cambios químicos (Izquierdo-Aymerich 2014)

En los artículos teóricos encontramos toda la gama de propiedades periódicas que proponemos en la encuesta, y otras adicionales, como por ejemplo la apariencia externa, los estados de agregación, los iones que forma más frecuentemente, la energía de los orbitales, etc. Lo que nos llama la atención, y que ya hemos comentado en el capítulo anterior, es que hay pocos artículos dedicados a alguna propiedad concreta. Citábamos, por ejemplo, la trilogía de Salas-Baunet y colaboradores (2011c, 2011a, 2011b) sobre la electronegatividad, y el trabajo de Chamizo y Gutiérrez (2004) sobre la valencia.

En la mayoría de las propuestas de juegos con cartas, o tipo bingo, aparecen las mismas propiedades que normalmente encontramos en los libros de texto: la configuración electrónica de valencia, la valencia, el carácter metálico tanto a nivel macro como a nivel micro, etc. La mayoría de estas actividades tiene el propósito de que el alumno aprenda a relacionar los valores cualitativos o cuantitativos de determinadas propiedades con la

posición en la tabla periódica. Las propiedades que se plantean para los juegos suelen depender del nivel educativo, de tal manera que las de las sustancias macroscópicas se suelen plantear para ESO y las de los átomos para bachillerato.

El conjunto de propiedades que se usan para enseñar la periodicidad está relacionada con la visión de elemento que se comunica, porque éstas pueden referirse a los átomos o a las sustancias o al elemento simbólico; por ello nos podrían decir mucho sobre la función docente de la tabla periódica. En los libros de texto pudimos identificar una tendencia más o menos definida al uso de propiedades atómicas más que microscópicas. En las encuestas no identificamos una tendencia definida más allá del aumento de pluralidad al pasar de ESO a bachillerato. Esto nos lleva a reflexionar que puede haber falta de criterio definido en las respuestas de los profesores y que, tal vez, hubiera sido más productivo para nosotros preguntar por las propiedades periódicas pero sin ofrecer una lista para elegir.

Discusión sobre las secuencias para introducir la tabla periódica

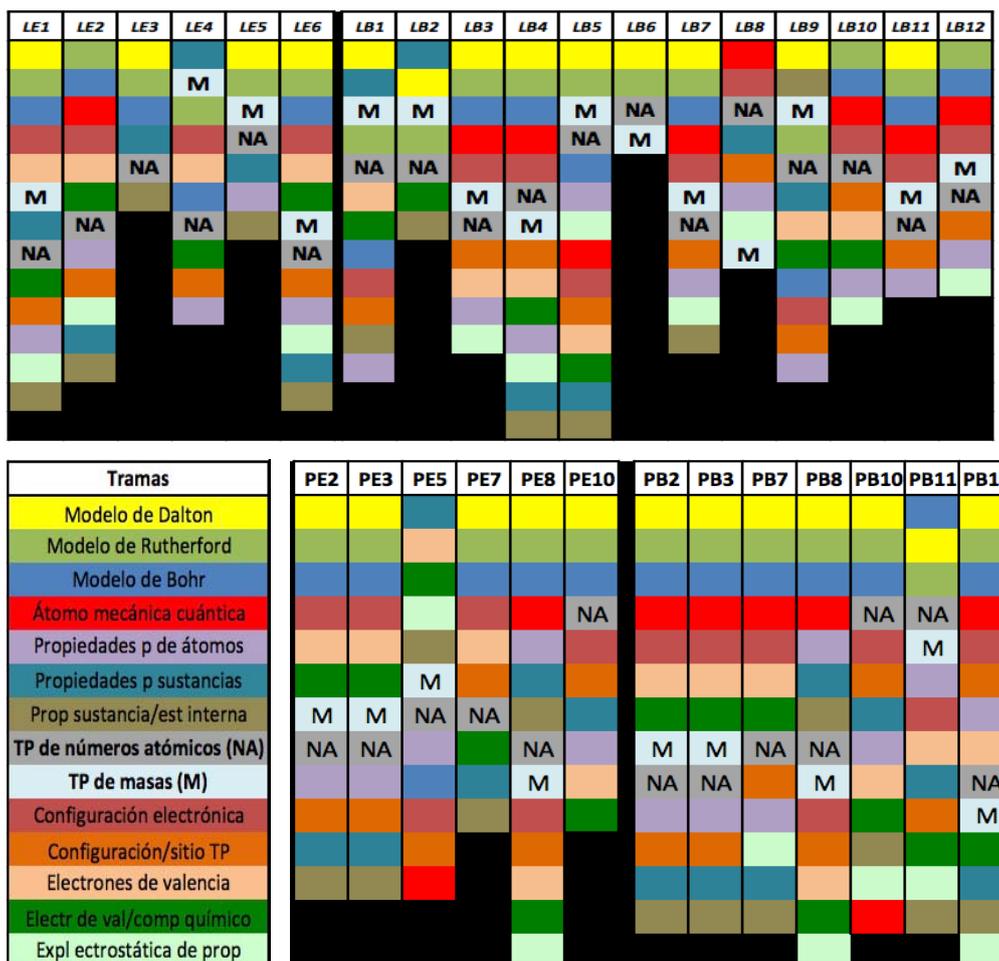


Figura 80. Secuencias para introducir la tabla periódica propuestas en los libros de texto y en las encuestas

El diagrama de arriba muestra las secuencias de los libros de texto y el de abajo, que está al costado de las tramas, muestra las secuencias propuestas por los profesores que contestaron las encuestas.

Hay algunas tendencias que se repiten tanto en los libros como en las encuestas. La semejanza más evidente es el hecho de tratar los modelos atómicos antes de la tabla periódica en el sentido cronológico, algunas veces incluyendo el modelo de la mecánica cuántica y algunas veces no. La otra tendencia que se repite en las dos muestras es el hecho de tratar las dos tablas periódicas en forma consecutiva, que en algunos libros se hace tratando la de masas como un intento previo y muy importante de clasificar los elementos, pero fallido; cuyos defectos se solucionan cuando se cambia de criterio de ordenación al de

los números atómicos. También es frecuente tanto en los libros como en las encuestas, excepto en algunos casos, encontrar las propiedades periódicas de las sustancias (y su relación con las estructuras internas) después de haber tratado las tablas periódicas.

Estas tendencias de las dos muestras parecen configurar un tipo de “relato” que subyace en la mayoría de los textos aunque con matices significativos que marcan las diferencias fundamentales entre las diversas maneras de presentar la tabla periódica. Estas diferencias se pueden ver en los “relatos” de los libros de texto que construimos en el capítulo 5. La información que obtuvimos en las encuestas no es suficiente para construir dichos “relatos” tal como lo hicimos con los libros de texto pero el paralelismo entre las tendencias comunes entre ellas nos permite atrevernos, al menos, a especular sobre la presencia de algunas ideas en un “relato” característico. Algunas ideas que podrían configurar dicho relato son las siguientes:

Los modelos atómicos se van sucediendo, uno tras otro, hasta presentar las dos tablas periódicas consecutivamente y después se tratan las propiedades periódicas (macroscópicas y/o de los átomos). La secuenciación de los modelos atómicos se hace en orden cronológico y cada modelo se plantea con una mejora respecto al anterior, gracias a un experimento llevado a cabo por el científico que le da nombre al modelo. Una vez se explica el modelo que se usará a través del curso, que mayoritariamente es el de Bohr, se presenta la tabla periódica de Mendeleiev. Se resalta su importancia como clasificación de la gran cantidad de elementos descubiertos en su época y como herramienta predictiva de nuevos elementos. Se señalan algunos “fallos” o “incoherencias” y se describe un nuevo experimento (a veces), con Moseley como responsable, para formular la nueva ley que ahora funciona perfectamente con el modelo de átomo que se había dejado entre paréntesis mientras se contaba la historia de la tabla periódica. Posteriormente se muestra la periodicidad, en la que se puede hacer énfasis en las sustancias y/o en los átomos. Aunque encontramos las diferentes opciones en los dos niveles escolares, lo que parece más generalizado es el uso de las propiedades macroscópicas en niveles escolares inferiores y de las microscópicas en niveles superiores.

Este “relato” genérico suele variar en dos aspectos en los que interviene especialmente la visión de elemento: el modelo atómico “final” antes de la tabla periódica y el tipo de propiedades periódicas que se explican después de introducir la tabla de números atómicos.

En los artículos analizados encontramos algunas secuencias de actividades que podemos comparar con lo que encontramos en los libros de texto y en las respuestas de los profesores. Es interesante resaltar, por ejemplo, el trabajo de Franco-Mariscal y Oliva-Martínez (2013c), en el cual preguntan a expertos por los contenidos que se pueden enseñar en secundaria sobre la tabla periódica. Una parte de los resultados se refiere concretamente a la secuenciación. Los autores advierten que “*No para todos los sujetos consultados fue sencillo establecer una secuencia didáctica clara que representase sus ideas*” (2013c, p. 50) y presentan un cuadro con las propuestas de 6 personas entrevistadas, divididas en 5 ítems cada una. Los autores señalan que hay una tendencia a utilizar un enfoque inductivo “... *que pasa de lo más visible e inmediato a lo más lejano y abstracto*” pero también advierten que

“... aunque los contenidos son prácticamente los mismos [...] los profesores prefieren secuenciarlos de diferentes formas”, y que “... la casuística es muy amplia, sin que lleguen a apreciarse dos secuencias idénticas, ni siquiera similares...”. (2013c, p. 50)

De hecho, en algunas secuencias que se muestran se hace más énfasis en las propiedades químicas (de fórmulas más que fenomenológicas) y en otras secuencias se hace más énfasis en las configuraciones electrónicas. La variedad de posibilidades que reportan los autores concuerda con lo que encontramos en las encuestas que analizamos en este trabajo. Lo que no coincide es que nosotros encontramos más tendencia a abordar la tabla periódica desde los átomos que desde las sustancias macroscópicas. En las secuencias que se citan en este estudio no aparecen de manera explícita los modelos atómicos (sólo se cita a una persona que los menciona), pero según podemos ver en los diversos ítems (configuraciones electrónicas, por ejemplo) se puede deducir que la mayoría de las secuencias están pensadas de tal manera que los alumnos ya deban haber estudiado los modelos atómicos o, como mínimo, un modelo de capas con electrones externos diferenciados de los electrones internos.

Los mismos autores presentan, en otro estudio (Franco-Mariscal y Oliva-Martínez 2013a), la descripción detallada de una unidad didáctica sobre los elementos químicos basada en juegos que está dividida en dos partes (“*dos niveles de profundización*”), y que sigue más o menos el siguiente orden: Se empieza por la familiarización con los elementos, las propiedades macroscópicas y sus similitudes. Se tratan las primeras clasificaciones por *peso atómico*, la tabla de Mendeleiev, los problemas de ésta y el número atómico ordinal. En el segundo nivel se empieza por los modelos atómicos (Dalton, Thomson, Rutherford y

modelo de capas), la identificación por número de protones, los isótopos, la estabilidad de los átomos, la tabla periódica actual. Después se presenta la TP como instrumento predictivo e interpretativo, la relación entre propiedades macroscópicas y la configuración electrónica. Se trata la TP como un modelo porque “*no es perfecta*” (2013a, p. 64), y se ofrece una panorámica general de las ideas estudiadas. Lo que más destacamos de esta secuencia, en relación con lo que encontramos en los libros de texto, es que los modelos atómicos están planteados entre las dos tablas periódicas y que el número atómico se trata como lugar en la tabla periódica antes que como número de protones. En cualquier caso, las preguntas de investigación se dirigen a buscar resultados sobre el uso de juegos y no sobre la secuencia adoptada. Según la justificación de toda la secuencia (explicada con detalle), parece una propuesta muy completa y con carácter modelizador, en la cual el átomo físico no es el centro de atención. Sería interesante poder tener más resultados específicos sobre su efectividad.

Discusión sobre los formatos de la tabla periódica

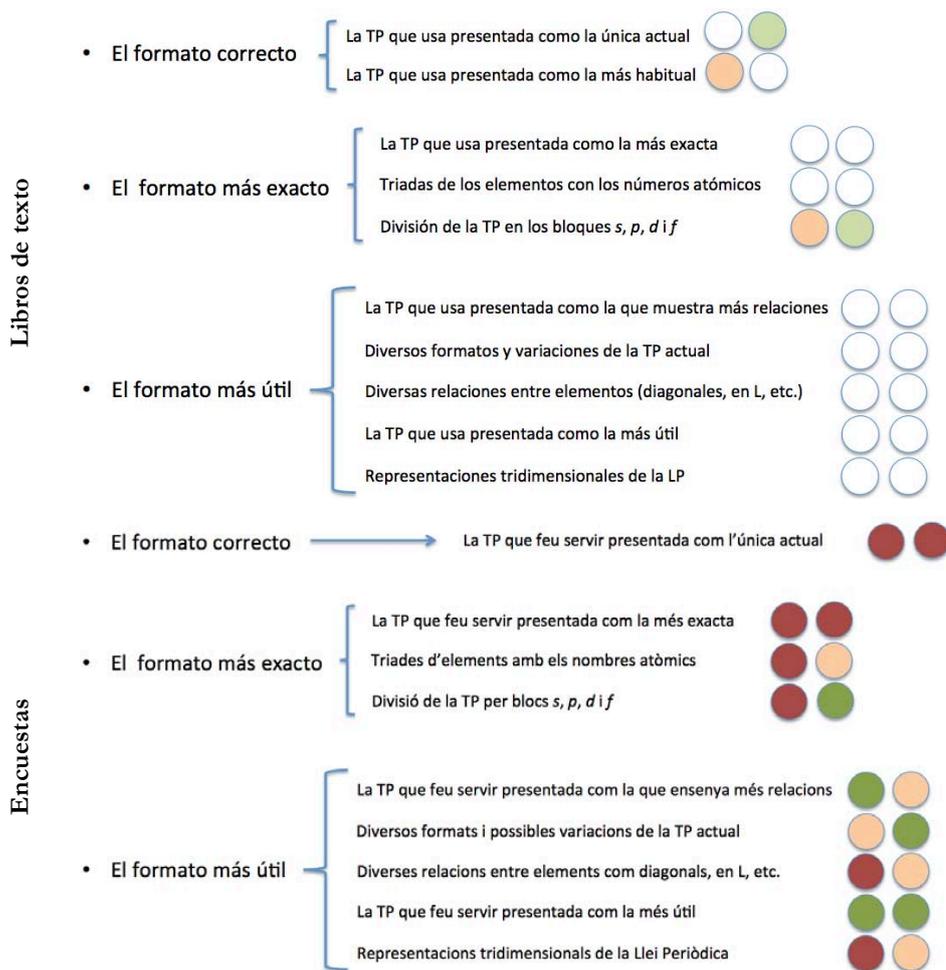


Figura 81. Redes sistémicas sobre la discusión de formatos de la TP en los libros de texto y en las encuestas

Como se puede ver en la plantilla que usamos para analizar los libros, hicimos un cambio respecto al cuestionario de los profesores, al ver que en algunos textos se planteaba de manera explícita que la tabla que se presenta es “la más habitual”. Este ítem no está contemplado en la encuesta porque el cambio fue hecho después de que los profesores la contestaran. En cualquier caso, corresponde a la misma categoría de “La tabla periódica que usa presentada como la única actual”, porque las dos ideas representan el uso ortodoxo del un único formato, junto con una retórica que no sugiere la posible existencia de otros, o de determinadas variaciones y, por lo tanto, puede representar una idea de la tabla periódica que “es” la ley periódica misma.

En esta pregunta hemos encontrado diferencias interesantes entre los ítems que valoraron los profesores y los que encontramos en los libros de texto, como se puede ver en los diagramas de las redes sistémicas anteriores.

La primera diferencia notoria es que la mayoría de profesores no ven con buenos ojos el hecho de usar una tabla periódica que sea presentada como la *única* que existe. En cambio, esta idea de unicidad es frecuente en los libros de la muestra de bachillerato, aunque muchas veces de manera implícita. Como decíamos antes, en algunos se afirma que la tabla que propone el libro es “la más habitual”, como se puede comprobar con el color naranja en el ítem que agregamos a la plantilla, pero no se menciona el porqué ni cuáles otras alternativas existen.

Pero la diferencia más sorprendente entre los libros y las respuestas de los profesores, como se puede ver en las redes sistémicas anteriores, es la tendencia que muestran algunos de los ítems de la tercera categoría (“El formato más útil”), que obtienen valoraciones positivas en las encuestas y de los cuales no encontramos ninguna evidencia en los libros de texto.

Estos resultados son muy diferentes de lo que encontramos en los artículos, especialmente al comparar los artículos “teóricos”, donde se debate ampliamente esta cuestión, con los libros de texto. Los artículos que hacen propuestas didácticas se quedan un poco cortos en relación a los teóricos, pues como hemos visto, hay pocas propuestas relacionadas con la

cuestión de los formatos. Con ello, interpretamos que se le da mayor importancia a estos aspectos en la investigación didáctica teórica que en la planeación de clases y en los recursos producidos para orientarla.

Podríamos pensar que se trata de un proceso en vías de normalización y que los libros de texto, por ejemplo, se encuentran en una etapa normalizada anterior. Si esto es así, esperaríamos que la cuestión de los formatos estuviera presente en los libros de texto después de normalizarse en algún momento (si es que sucede), como lo reclaman algunos autores citados en la muestra de artículos, por ejemplo Clark y White (2008) o Lavelle (2009). Ahora bien, como ya lo hemos mencionado, también encontramos autores que independientemente de la posibilidad de normalización, animan a los lectores a ser más herejes, no sólo con los formatos mismos, sino contra la idea de la existencia de un formato que sea mejor que todos (Jensen 2008b; Rich 2005; Laing 2009c).

Nos llama la atención, pues, la ortodoxia que notamos en este aspecto en los libros de texto analizados, no sólo respecto a los artículos teóricos, sino incluso respecto a las propuestas publicadas en las mismas revistas (y las respuestas de los profesores) que muestran algunas propuestas alternativas, aunque tímidas, y alguna flexibilidad respecto al formato estándar de la tabla periódica.

Consideramos que el hecho de sugerir la existencia de diversos formatos, o la posibilidad de modificaciones, en el momento en que se está introduciendo la tabla periódica puede ser interesante por diversos motivos: En primer lugar, porque se trata de un debate que verdaderamente existe en el contexto de la educación química, como lo hemos comprobado en el capítulo 3, y que evidencia que la manera de representar la ley periódica no es un asunto zanjado como se presenta en los “relatos” más habituales de los libros de texto. Y en segundo lugar, porque es un debate que aporta elementos para ayudar a cambiar tópicos en cuanto a las visiones deformadas de la ciencia, enseñando la idea de que la tabla periódica que usamos es una representación consensuada de una realidad compleja que se podría representar de diversas maneras, y que en cada formato subyacen decisiones de una comunidad científica.

Podría pensarse que no es necesario que los estudiantes, y sobretodo los de ESO y bachillerato, se vean enfrentados con esta discusión de profesores y científicos, como

afirman algunos autores (Clark y White 2008; Lavelle 2009). Pero lo que consideramos interesante en estos niveles (no estamos proponiendo ahondar en el debate de los formatos con los estudiantes), es, simplemente, plantear la posibilidad de usar los diversos formatos (espirales, tridimensionales, etc.), mostrar sus diversas utilidades, los diversos criterios de elaboración, etc.; para resaltar, más de lo que se suele hacer, la riqueza a la tabla periódica como inscripción y, como decíamos, su carácter de construcción humana.

En vez de sustentar la importancia de la tabla periódica en el funcionamiento aparentemente exacto de la clasificación de los átomos, con su correspondiente comprobación mediante las configuraciones electrónicas y la variación periódica de las propiedades de tales átomos aislados, sería interesante sustentar su importancia en la riqueza de relaciones que muestra y en la gran variedad de posibles maneras de mostrarlas según las que se quieran resaltar. En definitiva, en vez de presentarla como una fórmula, exacta, y como un catálogo de átomos y de datos, podría ser interesante hacer más evidente cuáles son los aspectos objetivos que representa y cuáles son los aspectos subjetivos que se elijen para representarlos.

Discusión sobre el estatus de la ley periódica

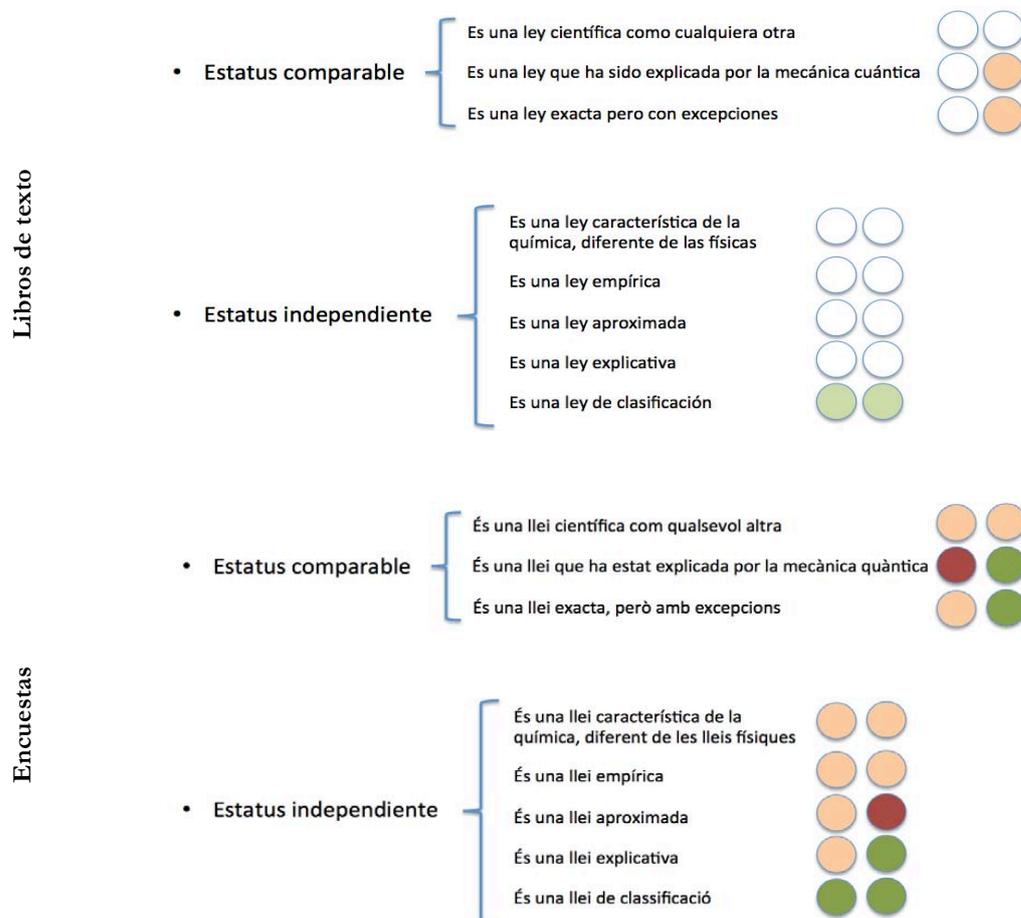


Figura 82. Redes de sistemas sobre el estatus de la ley periódica en los libros de texto y las encuestas

En la comparación de los resultados obtenidos con esta pregunta no hay tanta información significativa como en las anteriores. Ya hemos dicho antes que la idea de la tabla periódica como clasificación y por lo tanto, la ley periódica como ley de clasificación, es una idea recurrente en los libros de texto tanto de manera implícita como de manera explícita. También hemos dicho que, como se ve en la red sistémica de arriba, la correspondiente a los libros de texto, no se suelen mencionar aspectos comparativos de esta ley en relación con otras leyes científicas y, particularmente, con respecto a las leyes físicas.

Según los resultados de la encuesta, esta idea de clasificación también parece ser dominante en las visiones de los profesores que la contestaron, aunque también hay más variedad de respuestas que en los libros de texto.

Es importante señalar que la agrupación de los ítems como categorías no da mucha información en este caso, al menos en cuanto a la tendencia general de las encuestas, porque no es posible definir cuál de las dos tiene más “peso” en la muestra.

La uniformidad que encontramos en el hecho de dar mayor importancia al carácter de clasificación que tiene la ley periódica, contrasta con la diversidad que existe en el debate teórico. Como hemos visto, entre los autores de los artículos de la muestra que analizamos también hay argumentos que defienden esta idea en el sentido histórico, es decir, que le dan el estatus de esquema de clasificación a la ley periódica. Ahora bien, como se puede ver en algunos casos de profesores encuestados, y en concordancia con la visión de autores como Scerri (2013; 2011) que defienden este tipo de estatus, esto no riñe con el carácter explicativo, pero tampoco se considera igual que una teoría.

Las otras visiones de la ley periódica, que la consideran como una teoría explicativa, como es el caso de Niaz (2013); o como una aproximación (en contraste con las idealizaciones), en el caso de Tobin (2013), están más bien ausentes tanto de los libros de texto como de las respuestas de los profesores que contestaron la encuesta. Igualmente, el debate sobre la comparación de las leyes químicas (y la ley periódica como tal) con las de la física, utilizando o no los mismos parámetros, tampoco tiene presencia en los libros de texto, y tiene muy poca en las propuestas didácticas para trabajar en clase que encontramos en los artículos.

En el capítulo 3 citábamos tres artículos de la muestra cuya propuesta es un análisis de libros de texto (Brito, Rodríguez y Niaz 2005; de Mattos et al. 2012; Camacho, Gallego y Pérez 2007); y en dichos trabajos se reporta, precisamente, que el estatus de “*la contribución de Mendeleiev*” no se trata de manera “*satisfactoria*” en los libros de texto. Como describen los autores, en la gran mayoría de los libros que analizan no se menciona el hecho de que existe una pregunta abierta sobre el carácter que tuvo el trabajo de Mendeleiev; es decir, si desarrolló una teoría, si formuló una ley empírica, o si construyó un modelo científico. Lo que sí se afirma en uno de estos estudios (de Mattos et al. 2012) es que la mayoría de textos que se posicionan en alguno de los sentidos considera que la contribución de Mendeleiev se trató de un dominio ordenado (o esquema de clasificación), y en algunos pocos, se considera que el químico ruso desarrolló una teoría interpretativa o, al menos, con cierto

poder de explicación aunque limitado (Camacho, Gallego y Pérez 2007; Brito, Rodríguez y Niaz 2005).

Sobre la aceptación de la ley periódica

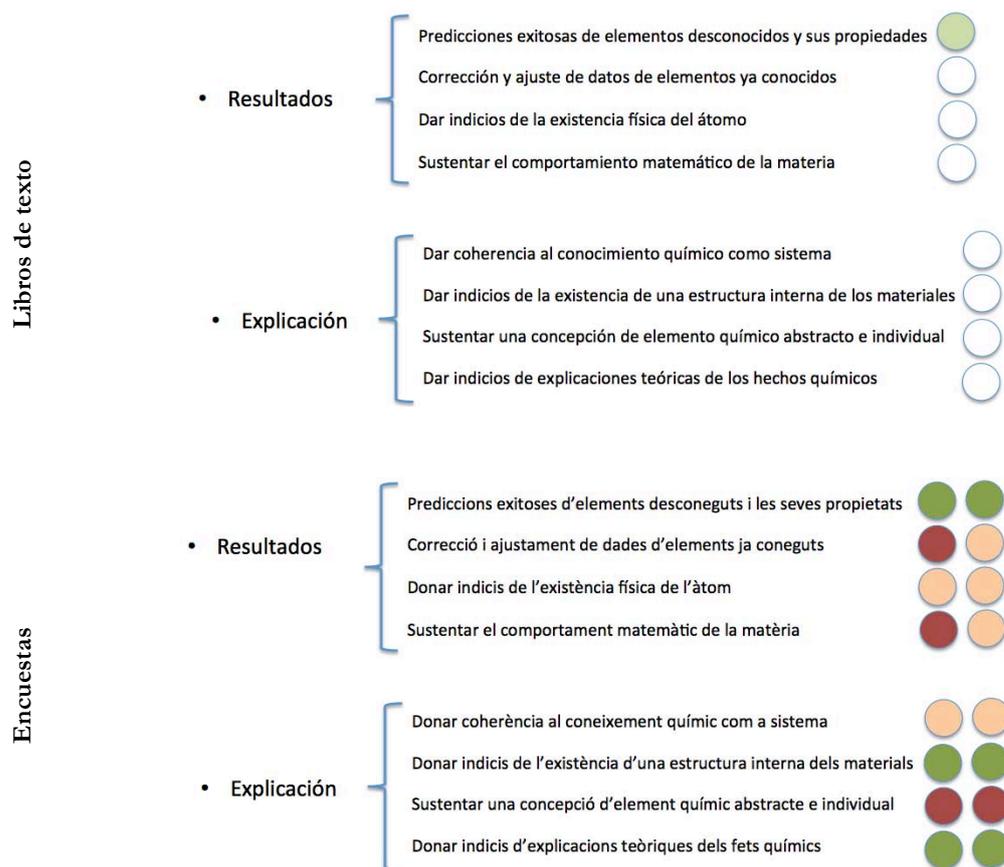


Figura 83. Redes de sistemas sobre la aceptación de la tabla periódica en los libros de texto y las encuestas

Lo más relevante en esta comparación es que aunque en los libros de texto encontramos que las predicciones de Mendeleiev parecen haber sido los méritos que ayudaron a su aceptación por parte de la comunidad científica, en las encuestas encontramos otras respuestas alternativas, algunas de las cuales muestran una tendencia de valoración positiva mayoritaria. Es interesante resaltar, por ejemplo, los dos ítems de consenso positivo que están en la categoría de “Explicación”. Podríamos decir con ello que la tendencia de presencia en los libros analizados muestra que la ley periódica fue aceptada más por los resultados en sí mismos que como una posibilidad de ampliar el horizonte explicativo de la química. En cambio, entre los profesores que contestaron la encuesta se reconoce que es importante tratar en clase la importancia de este carácter explicativo.

Insistimos en señalar el consenso de valoración negativa que tiene el ítem relacionado con la concepción abstracta de elemento, que es coherente con lo que decíamos antes sobre este aspecto y que algunos historiadores sostienen que fue uno de los aspectos más importantes en el trabajo de Mendeleiev (Bensaude-Vincent 1991).

En este aspecto también hay diferencias importantes entre lo que encontramos en los libros de texto y en los artículos, y no hay tanta diferencia entre éstos y las respuestas de la encuesta, donde hemos visto que se aceptan algunos motivos adicionales a las predicciones.

En los artículos teóricos encontramos el debate en el cual se defienden dos posiciones: la que afirma que las predicciones exitosas proporcionaron la credibilidad necesaria para que la comunidad científica aceptara la ley periódica como válida, defendida por Niaz (2013); y encontramos la posición defendida por Scerri (2013) según la cual, más que tales predicciones, fueron las acomodaciones. La diferencia más importante con los libros de texto que analizamos es que en éstos generalmente se plantean los dos aspectos, pero se le acaba dando prioridad a las predicciones al comparar el éxito de Mendeleiev con el de otros científicos, especialmente con el de Meyer.

También encontramos tres artículos, los mismos citados en la sección anterior, en los que se evalúa en qué medida se menciona la importancia relativa entre estos hechos y, si los textos se posicionan dándole más importancia a uno o al otro. (Brito, Rodríguez y Niaz 2005; Camacho, Gallego y Pérez 2007; de Mattos et al. 2012). Los tres estudios reportan que en la mayoría de libros analizados se menciona “*satisfactoriamente*” que la acomodación de los elementos fue lo más importante para la aceptación del sistema periódico por parte de la comunidad científica. Estos trabajos también reportan que no hay tanta unanimidad sobre la importancia de las predicciones en los libros que analizan. Esto es diferente de nuestro resultado, pues casi la totalidad de libros analizados, y una mayoría de los profesores que contestaron la encuesta, resalta las predicciones como lo más importante para la aceptación.

Discusión sobre las razones para enseñar la tabla periódica

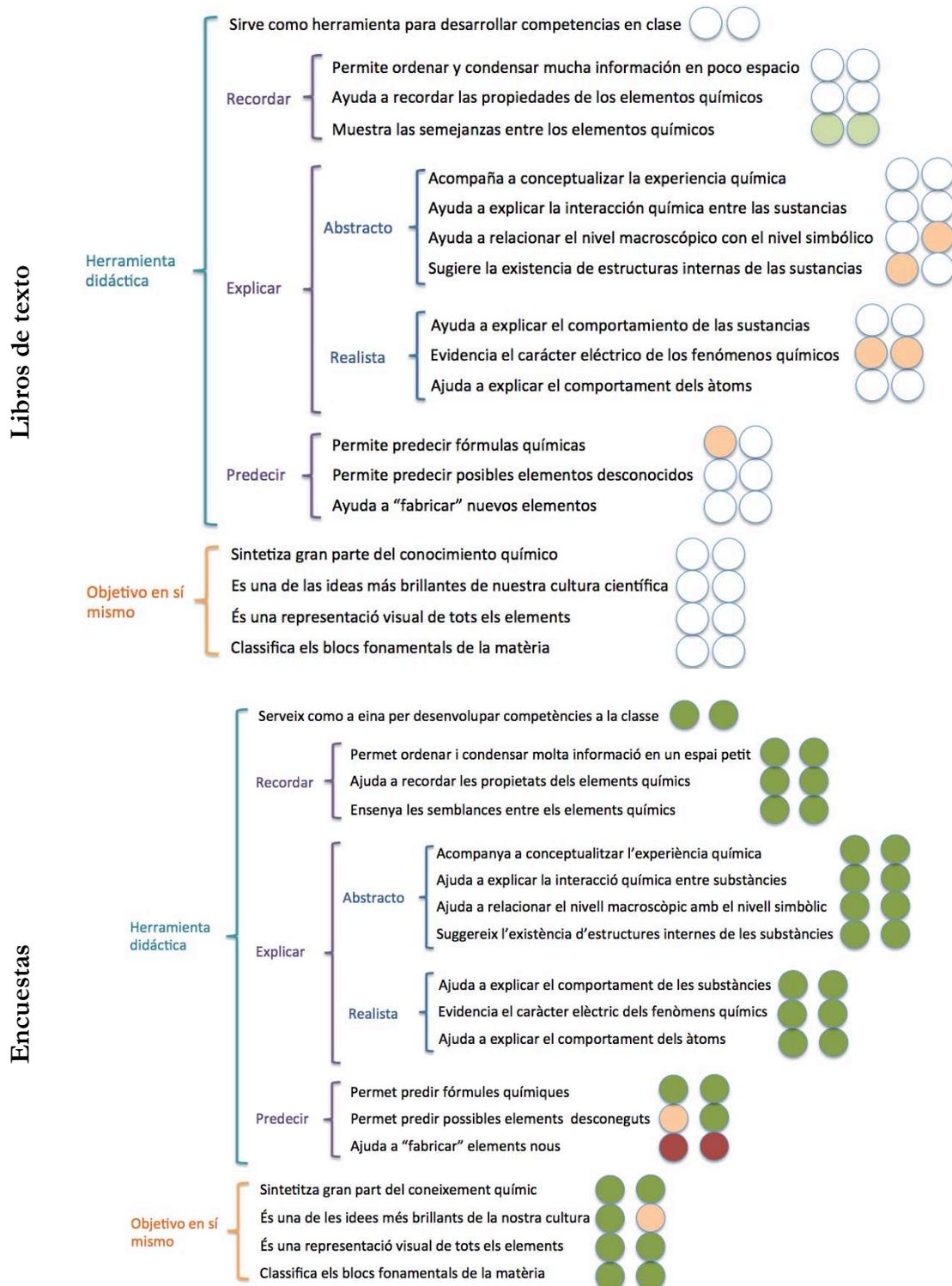


Figura 84. Redes sistémicas sobre las razones para enseñar la tabla periódica en los libros de texto y las encuestas

Con las respuestas a esta pregunta también se hace difícil hacer una comparación detallada; aunque es interesante notar los dos extremos que encontramos: para los profesores es necesario tratar casi todas las razones que planeamos y en los libros encontramos muy poco sobre ellas.

En los artículos encontramos de todo tipo de razones, explícitas e implícitas. En primer lugar, a partir de los núcleos conceptuales, podemos decir que en la investigación didáctica la tabla periódica se considera importante para comprender la estructura de la materia, lo cual también se hace evidente en los libros de texto (de manera implícita) porque generalmente está colocada en capítulos que se refieren a ello. Pero la “estructura de la materia” es una expresión que puede quedar vacía, si no le damos un sentido concreto. En los libros de texto, esta estructura generalmente se refiere a los átomos y, en algunos pocos, también se refiere a la “arquitectura” que puede explicar su comportamiento químico y físico, es decir, al nivel “meso” en el sentido que se busca en la Química Escolar (Izquierdo-Aymerich 2014).

En los artículos, como decíamos antes, encontramos más pluralidad de razones. Una de las más evidentes está relacionada con la idea de que comprender la estructura de la tabla periódica también es comprender la idea de elemento, precisamente porque uno de sus atributos más importantes, y que se tiene en cuenta más en los artículos (sobre todo en los teóricos) que en los libros de texto, es el lugar que ocupa un elemento en la tabla periódica. Es decir, la periodicidad química de los elementos también se aprende mientras se aprende qué son los elementos (y cómo interactúan entre sí).

En este sentido también es importante el trabajo de Segura, Valls y Martí (2010) que, a partir de la construcción, exposición y utilización de una “*taula periòdica real*”, como explican en su artículo, se puede dar sentido a la experiencia química y ayudar a la comprensión de conceptos abstractos como la idea de elemento, sobre el cual hacen especial énfasis. Pero además, esta iniciativa sirve para aprovechar la tabla periódica como herramienta de aprendizaje de “...*cultura química que hauria de tenir qualsevol ciutadà un cop acabada la seva formació a l'etapa obligatòria*” (2010, p. 30)

También encontramos trabajos que resaltan la importancia de enseñar la tabla periódica, y el sistema que representa, como herramienta de modelización. Mediante un enfoque

histórico-filosófico Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo (2009) resaltan el papel que tuvo el sistema periódico en la construcción de los modelos atómicos y por lo tanto, la importancia que puede tener en este mismo sentido para el aprendizaje de la química.

Del núcleo conceptual sobre los formatos, también podemos interpretar diversas funciones de la tabla periódica y razones importantes para aprenderla además de comprender las entidades elementales, o de definir las de maneras alternativas como lo hacen Labarca y Zambon (2013), por ejemplo. En estas discusiones sobre el formato, también podemos notar la función que tiene la tabla periódica de herramienta explicativa de las interacciones. Mientras unos formatos se fundamentan más en las interacciones químicas, otros se fundamentan más en las explicaciones mecánico cuánticas.

La cuestión del formato también revela la función de mostrar cómo se construyen los productos científicos y cómo se evalúan, entre otras cosas a partir de criterios de utilidad, simetría, estética, economía, intereses particulares de resaltar unos aspectos más que otros, etc. Sobre el carácter humano de los productos científicos, la cuestión del formato también nos revela la función semiótica que tiene la tabla periódica, como lo tienen todas las representaciones, en el sentido de ayudar a racionalizar una realidad compleja de la manera más simple posible, como afirman Schwarz y Rich (2010).

De los artículos que reunimos en los otros núcleos conceptuales, relacionados con el desarrollo y la aceptación de la tabla periódica, así como el estatus de la ley periódica, podemos ver la importancia de la tabla periódica para aprender historia de la química; y más importante aún en relación con nuestros objetivos de investigación, también se revela la su utilidad para aprender química mientras se aprende historia de la química y aprender sobre la naturaleza de la química y la manera en que se produce conocimiento, se evalúa, se enseña y se utiliza.

Otros trabajos nos muestran cómo usar la tabla periódica para desarrollar determinadas habilidades, o competencias según en el contexto en el que se enmarquen. Por ejemplo, el reconocimiento de patrones que nos presentan Schultz (2005); Waldrip y Prain (2011); o Criswell (2007).

Finalmente, resaltamos la importancia cultural y lúdica que podemos encontrar en todos los artículos que utilizan la tabla periódica con iniciativas artísticas y las propuestas que acercan a los estudiantes a la historia de los nombres de los elementos. Éstas, aunque menos abundantes, también están presentes en artículos de la muestra. Con ellas, la tabla periódica nos ayuda a reconocer la cultura humana en los nombres de los elementos, en los cuales podemos encontrar conocimiento mitológico, geográfico, histórico, mineralógico, etc.

Lo anterior nos lleva a reflexionar sobre la importancia de cuestionar no sólo cómo enseñamos la tabla periódica sino qué enseñamos de ella, pero sobretodo qué enseñamos con ella, cómo la usamos y para qué la usamos. En definitiva, nos parece que hace falta más reflexión para definir las funciones de la tabla periódica en la educación química en cada uno de los niveles, con el fin de planificar pensando concretamente qué pretendemos que los alumnos aprendan a hacer con ella. En este sentido, no es nada fértil quedarnos con la idea de que la tabla periódica es muy importante, en general, y por costumbre.

Metafóricamente, podríamos decir que en vez de dejarla enmarcada en la pared del laboratorio, y estudiarla como un monolito, sería interesante que los profesores nos atreviéramos a “desmontarla” con los alumnos y a volverla a “montar” tantas veces como sea necesario, no sólo para aprender de ella, sino también para saber usarla y saber disfrutarla.

7.1.2 Comentarios finales sobre los “relatos” en los libros de texto y las secuencias en las encuestas

Ya hemos visto que en los libros de texto fue posible construir unos “relatos” característicos de diversas maneras de presentar la tabla periódica, y que estos relatos tienen una parte común pero se diferencian en dos aspectos principalmente: en los modelos de atómicos previos a la introducción de la tabla periódica y en las propiedades periódicas que se utilicen después de introducirla.

Con las encuestas no fue posible obtener el mismo resultado, no sólo porque hay respuestas incompletas sino porque encontramos algunas incoherencias al interpretar los diagramas. En cualquier caso, pudimos establecer secuencias características que podemos comparar con las de los libros de texto mediante los esquemas condensados.

Si observamos las dos clasificaciones de los esquemas condensados de las secuencias, podemos ver que la mayoría (tanto de libros como de profesores encuestados) aborda las tablas periódicas desde las entidades microscópicas abstractas, utilizándolas para cambiar de un cuadrante a otro. Se utilizan poco las entidades macroscópicas y, por lo tanto, no se establecen relaciones entre la tabla periódica y los fenómenos que los alumnos pueden intervenir y controlar. Incluso cuando se usan las propiedades macroscópicas y se intenta mostrar que hay una relación entre éstas y la estructura de los átomos, desapareciendo el nivel “meso” y el mol como referencia, la brecha se hace insalvable para los alumnos; los átomos nunca llegan a tener sentido para ellos porque con esta brecha no pueden ser las herramientas de razonamiento que han sido para los químicos.

La mayoría de las secuencias utilizan las dos tablas periódicas de manera conjunta al ponerlas en secuencia: la tabla periódica de masas se suele presentar como una etapa previa e imperfecta de la tabla periódica de números atómicos. De todas las secuencias estudiadas, sólo encontramos dos en las cuales se presentan las tablas periódicas de masas y de números atómicos haciendo transiciones de niveles diferentes: la tabla periódica de masas se usa para transitar desde lo macro/realista de los fenómenos observables hacia lo macro/abstracto del mol y de las estructuras internas en el nivel meso; y la tabla de números atómicos se usa para pasar del nivel micro/abstracto del átomo imaginado que explica la periodicidad hacia el micro/realista del átomo físico.

De esta manera, cada una de las tablas periódicas juega un papel heurístico diferente, que permiten la dialógica entre niveles. Estas heurísticas son interesantes didácticamente no sólo porque son más cercanas al orden cronológico de los acontecimientos históricos, sino también porque permiten guiar la actividad química escolar de tal manera que las entidades teóricas puedan surgir como una necesidad para explicar los fenómenos, haciendo de la actividad química, una actividad razonada y razonable.

En este sentido, la tabla periódica debería funcionar como una herramienta heurísticas o dialógica, como una herramienta que ayude a transitar entre el mundo de los fenómenos observables y las entidades químicas teóricas que se usan para explicarlos, no como átomos sino como grupos de muchas partículas que “...en conjunto, se comportan de manera ‘similar’ a como lo hacen las substancias en los fenómenos en los cuales intervenimos” (Izquierdo-Aymerich 2014, p. 27)

7.2 Respuesta a las preguntas de investigación: la función docente de la tabla periódica

A continuación respondemos las preguntas de investigación, que convergen en nuestro objetivo general de identificar la función docente de la tabla periódica y su posible papel en la perpetuación de la idea de que los átomos son el objeto de estudio de la química, en vez de herramientas para pensar los cambios e intervenirlos mediante las manipulaciones, que son el verdadero objeto de estudio de la química y propósito de la Química Escolar.

7.2.1 Núcleos conceptuales y función de la tabla periódica en la investigación didáctica reciente

Después de acotar y revisar una muestra de revistas de impacto publicadas en los últimos 15 años y de clasificar los artículos que se centran en la reflexión teórica de la tabla periódica y los elementos químicos, hemos encontrado que los núcleos conceptuales de mayor presencia se refieren al concepto de elemento, a la cuestión del formato para representar la ley periódica, a la explicación de la periodicidad, al desarrollo histórico y la aceptación del sistema periódico y, finalmente, al descubrimiento, aislamiento y utilidad de los elementos y las sustancias simples o compuestas relacionadas. Una vez identificados estos núcleos teóricos, hemos clasificado los artículos “teóricos” de la siguiente manera:

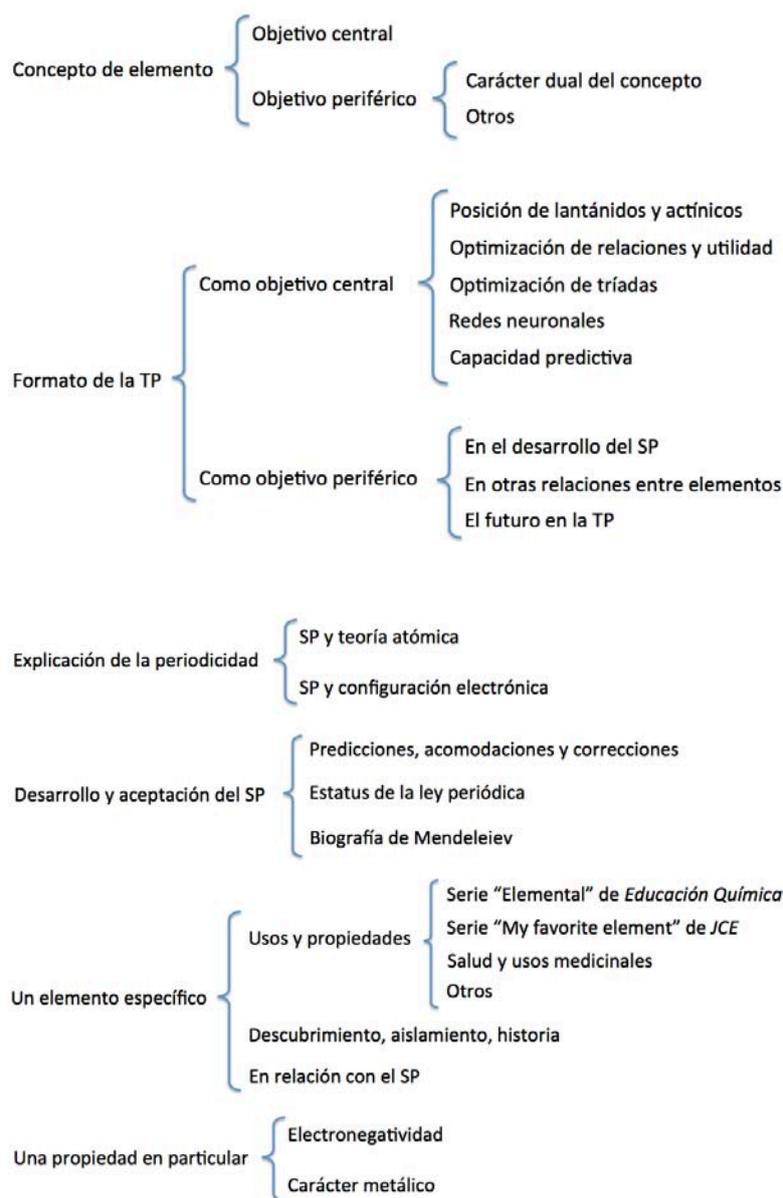


Figura 85. Red sistémica de los artículos teóricos

Aunque no tienen amplia presencia en la muestra, también hemos considerado los artículos que dedican la reflexión a una propiedad en particular, de aquellas que suelen tratarse en los cursos de química y en los libros de texto como “propiedades periódicas”.

Posteriormente hemos buscado estos núcleos teóricos en los artículos que plantean alguna propuesta didáctica concreta y los hemos clasificado de la siguiente manera:

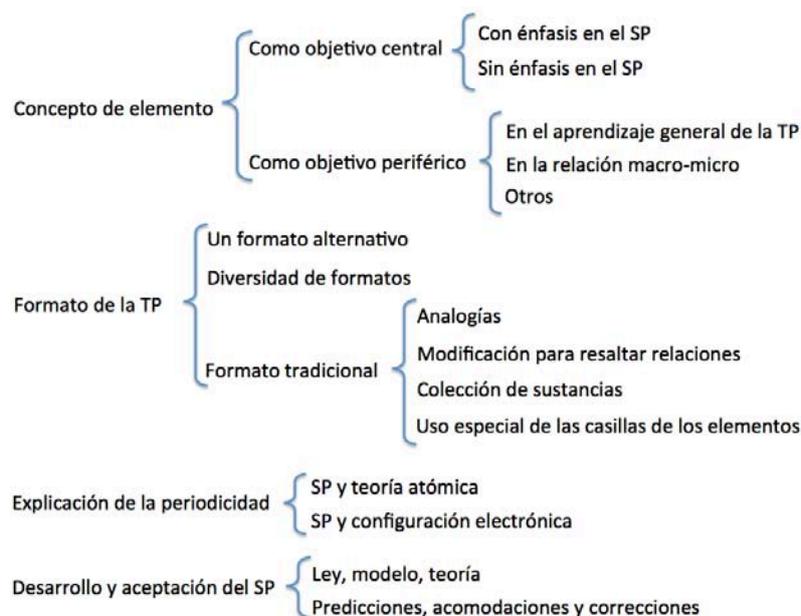


Figura 86. Red sistémica de los artículos que presentan propuestas didácticas

Posteriormente, con el fin de estudiar las propuestas publicadas para tratar estos núcleos conceptuales en actividades didácticas y elaborar un instrumento de ayuda para la consulta sobre el tema, hicimos otra clasificación de artículos según el tipo de actividad, de la cual resultaron las siguientes categorías:

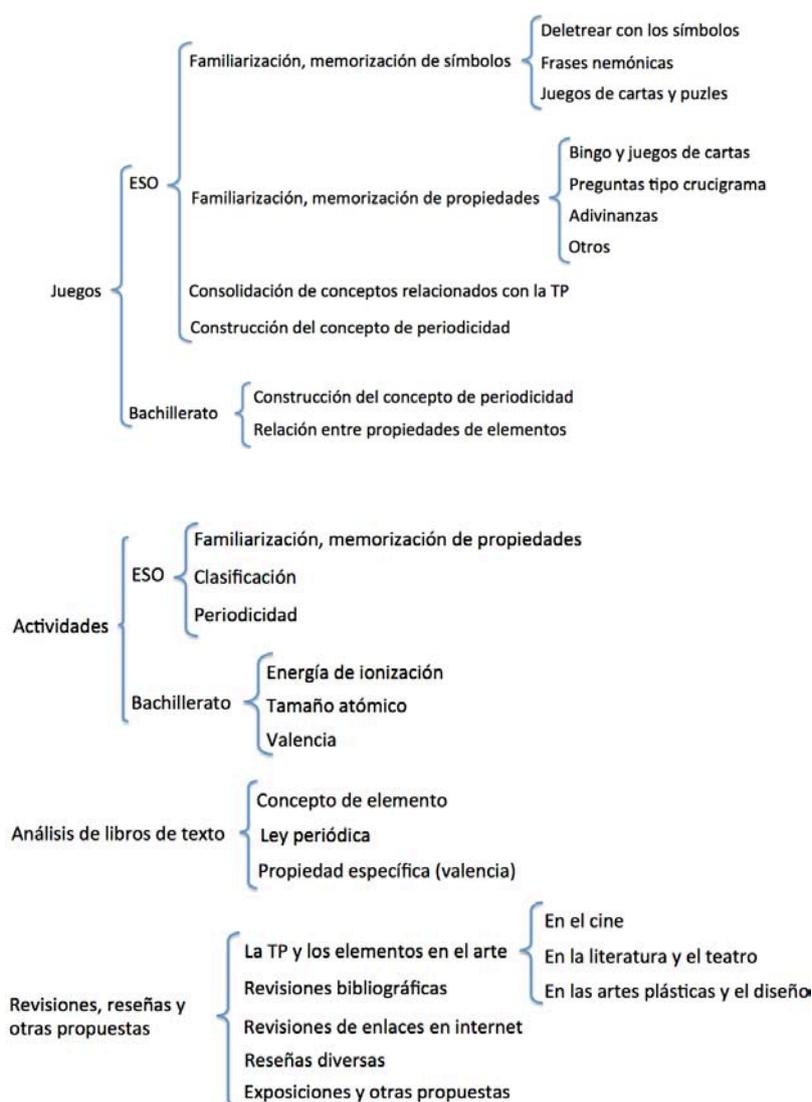


Figura 87. Red sistémica del tipo de actividades en los artículos con propuestas

A partir de esta clasificación y el análisis de los artículos, que reseñamos en el capítulo 3, podemos decir que la función docente de la tabla periódica en las propuestas didácticas no es completamente coherente con la función que se le otorga en las reflexiones teóricas. En éstas, generalmente, se resalta el carácter de la tabla periódica como representación de una realidad tan compleja como inabarcable que, como toda representación construida por personas para comunicar, se refiere a una realidad objetiva pero destaca aspectos seleccionados subjetivamente. En las discusiones sobre el formato vemos que éste depende de lo que se quiere destacar y esta permanente “ida y vuelta” entre la realidad objetiva y la manera subjetiva de representarla, es lo que hace de la tabla periódica una herramienta de modelización y reflexión tanto epistemológica como ontológica de la materia.

En las propuestas didácticas, como afirmábamos en el capítulo 3, hay menos tendencia a este uso de la tabla periódica y la idea que subyace en la mayoría de ellas es que el formato estándar es “la” representación de la ley periódica; la mayoría de esfuerzos se dedican a intentar ayudar a los estudiantes a entender cómo es su estructura y qué significa, con el fin de facilitar la búsqueda de información sobre los elementos y facilitar su uso. Es decir, se pretende enseñar la tabla periódica y enseñar a usarla como “catálogo”, lo cual consideramos también de suma importancia, pero se dejan a un lado otras funciones que encontramos en las reflexiones teóricas, las funciones heurísticas, en las que la tabla periódica es una herramienta para estudiar y modelizar la materia, no sólo una herramienta para recordar y consultar información.

Hemos visto que hay algunas propuestas interesantes en las que la tabla periódica tiene una función más heurística y apuntan a desarrollar competencias relacionadas con la búsqueda e identificación de patrones. Algunas de estas propuestas se instalan en la abstracción de la periodicidad en sí misma y otros se instalan en la abstracción de la periodicidad de la estructura de los átomos a partir de la interacción entre sus partículas mediante la fuerza electrostática. En las primeras, cuando los patrones de periodicidad se relacionan con los elementos, se usa una visión abstracta de estas entidades; y en las otras, los elementos quedan reducidos a la visión atómica, la que predomina en los libros de texto, relacionada con el átomo físico ¿Y las sustancias?

El propósito de mostrar una relación directa entre la estructura de los átomos, que se puede mostrar periódica de manera considerablemente precisa, y las propiedades de las sustancias, cuya periodicidad es definitivamente imprecisa, es un objetivo inalcanzable y sobretodo en niveles escolares. Aunque se aceptara la reducción ontológica, la reducción epistemológica no está completamente construida ni siquiera mediante la mecánica cuántica y, aunque lo estuviera, ésta no sería un objetivo de niveles escolares y menos en los períodos de enseñanza obligatoria de la química.

Si nos atrevemos a poner etiquetas a las funciones que encontramos en las publicaciones didácticas, diríamos que en el contexto teórico la tabla periódica cumple una función de *modelización* y en las propuestas de actividades didácticas encontramos dos funciones, una *clasificadora* y una *heurística*. La función clasificadora la identificamos en actividades que muestran la tabla periódica como un catálogo de clasificación que puede ser de sustancias o

de átomos. La función puede ser de dos tipos, la *heurística simbólica* y la *heurística electrostática*. La función heurística simbólica la identificamos en las actividades que están dirigidas a que los alumnos identifiquen patrones de periodicidad en general, utilizando formas y colores. La función heurística electrostática la encontramos en las actividades que tienen el propósito de que los alumnos identifiquen los patrones periódicos debidos a la interacción entre las partículas del átomo.

7.2.2 La función de la tabla periódica en los libros de texto

Con la plantilla de análisis que diseñamos a partir los núcleos conceptuales que identificamos en los artículos, procedimos a buscar cuáles de ellos están presentes en los libros de texto, en el capítulo que introduce la tabla periódica, y cómo están relacionados entre sí, con el objetivo de construir los “relatos” característicos que se usan para introducir la tabla periódica y las funciones que ésta cumple.

Encontramos que cuando se introduce la tabla periódica el concepto de elemento queda difuso y una de las causas es el uso de las etiquetas para referirse a elemento. Concretamente, es habitual el uso indiscriminado del término *elemento*. Con algunas excepciones, que identificamos en los textos que son más rigurosos en el uso de las etiquetas, los libro analizados favorecen a la perpetuación de esta práctica del lenguaje erudito, en la cual los expertos pueden reconocer el significante específico sin necesidad de usar etiquetas particulares. Pero esta práctica no facilita la interacción entre el conocimiento y el lenguaje de los alumnos-lectores con las etiquetas que se usan, porque con se asume que éstos ya han aprehendido la abstracción de los diversos significantes.

En cuanto al uso de los atributos, identificamos el predominio de aquellos que caracterizan el elemento con el *número atómico*, con el *número de protones* y con su *lugar en la tabla periódica*. El uso generalizado de éstos, junto con la retórica positivista habitual, según la cual hay una relación directa entre el comportamiento macroscópico y los “mecanismos” del interior del átomos, favorece el significante atómico del concepto de elemento, en el cual los tres atributos mencionados se refieren a la existencia física del núcleo del átomo y de sus partículas.

El uso de las propiedades periódicas parece tener el propósito de justificar la combinación promiscua de datos que se acaba condensando en las casillas de los elementos de la tabla

periódica, tanto de las sustancias macroscópicas como de los átomos físicos, y sugiere una relación directa que no existe entre los dos niveles. Esto no favorece la posibilidad de ofrecer a los alumnos-lectores el uso del nivel ‘meso’, o molar, para racionalizar los fenómenos observables mediante entidades teórica que ellos puedan “ver” en el cambio, y que puedan intervenir usando el mol como unidad/referencia, pues, como afirma Izquierdo-Aymerich: “...operamos con millones y millones de partículas que, en conjunto, se comportan de manera ‘similar’ a como lo hacen las sustancias en los fenómenos en los cuales intervenimos” (2014, p. 27).

La cuestión de los formatos de la tabla periódica es prácticamente inexistente en los libros de texto analizados. Con la excepción de dos que mencionan otros formatos no convencionales, casi como una curiosidad, se suele presentar un “relato” en el cual la representación que enseñan es “la” tabla periódica, e incluso parece “ser” la misma ley periódica, o al menos “la” fórmula con la cual se “calcula” esta ley mediante las configuraciones electrónicas. Como hemos dicho en repetidas ocasiones en esta memoria, aunque no consideramos que sea pertinente tratar a fondo el debate de los formatos en estos niveles educativos, sí creemos que puede ser interesante cuestionar la retórica del único formato, monolítico, como el que está en las paredes de los laboratorios y los salones de clase de química.

Cuando se plantea la explicación de la periodicidad, ésta se centra en las configuraciones electrónicas, reforzando así el protagonismo del átomo físico y sugiriendo la reducción ontológica de las propiedades macroscópicas a la estructura de éste. Además, la explicación de la periodicidad se centra casi exclusivamente en cómo son las entidades que ordenamos en la tabla periódica (átomos o sustancias, e incluso elementos abstractos) y no se suele referir a cómo interactúan, al menos en el capítulo en el que se presenta la tabla periódica.

En la mayoría de los libros, inmediatamente después de presentar la tabla periódica o unas secciones más adelante, se tratan los tipos de enlaces y se muestran las diferentes formas de interacción según la electronegatividad y, en algunos casos, esto se relaciona con la posición en la tabla periódica. La electronegatividad se usa aquí como uno de los datos que ya podemos consultar en la tabla después de estudiarla y que varía de forma periódica. Algunos libros, la mayoría, se centran en el átomo para mostrar los enlaces. También

encontramos algunos que construyen una retórica que tiene el propósito de establecer la relación entre periodicidad, interacción, y estructura en el nivel “meso”.

En cuanto al desarrollo histórico y el estatus de la ley periódica, hemos encontrado un “relato” habitual que refuerza la idea de que la tabla periódica es una clasificación de sustancias y de los átomos que las forman. Éste relato, reza más o menos así:

Mendeleiev hace una clasificación de sustancias en un momento en el que ésta es necesaria, con ella hace predicciones que resultan exitosas y que le dan el crédito del descubrimiento de la ley periódica, pero tiene algunos errores (comprensible en la época) por haberse basado en la masa atómica. Los errores se corrigen cuando Moseley descubre que el criterio de ordenación correcto es el número de protones, o número atómico. Posteriormente, la mecánica cuántica logra explicar la periodicidad mediante el modelo atómico “actual”.

Este “relato” tiene algunas variaciones que pudimos identificar al estudiar la secuenciación de los temas que más se suelen utilizar para introducir la tabla periódica y al relacionarlos con los otros aspectos correspondientes a las diversas cuestiones de la plantilla de análisis. Usando estas variaciones pudimos construir los diversos relatos que presentamos al final del capítulo 5, a partir de los cuales nos podemos atrever a poner etiquetas a la función que se le otorga a la tabla periódica.

Cuatro de los cinco relatos que construimos le otorgan a la tabla periódica una función *clasificadora*, una función que ya habíamos identificado en la muestra de artículos. Estos cuatro relatos son los que hemos llamado *elemento como átomo físico y químico*, *elemento como átomo abstracto*, *átomo físico* y *átomo de la mecánica cuántica*. Es decir, en estos relatos la tabla periódica sirve para clasificar átomos y sustancias, átomos físicos o átomos como símbolos. El relato que hemos denominado *átomo químico*, le da a la tabla periódica una función que hemos llamado *heurística macro-micro*, porque ubica las dos tablas periódica en un contexto de transformación del modelo atómico: la tabla de masas se presenta entre el modelo de Dalton y el de Rutherford, y la de números atómicos se presenta entre el modelo atómico de Rutherford y el modelo “actual”, pasando de la periodicidad de las sustancias a la periodicidad de los átomos.

7.2.3 La función de la tabla periódica en la práctica docente

Finalmente, respondemos la tercera pregunta de investigación a partir de los resultados del análisis de las encuestas que suministramos a un grupo de profesores. Como vimos en el

capítulo 6, pudimos identificar la presencia de algunos núcleos conceptuales a partir de las respuestas e interpretar las relaciones entre ellos para describir algunas características predominantes de la secuencias que prefieren utilizar los profesores para introducir la tabla periódica. En el mismo capítulo presentamos una discusión de las encuestas en comparación con los resultados del análisis de libros de texto (capítulo 5) y con el resultado del análisis de artículos (capítulo 3).

En el análisis de las respuestas de los profesores mostrábamos una utilización más diversa que en los libros de texto, tanto de las etiquetas de elemento como de los atributos, pero rescatábamos que en ambos resultados, de las encuestas y de los libros de texto, se nota la poca presencia de las etiquetas y los atributos que dan carácter más abstracto a los elementos. Esta presencia escasa, especialmente de los atributos *masa atómica* (MAT) y *sobrevive al cambio químico* (SCQ), no favorece una conceptualización de elemento que desde nuestro marco teórico consideramos con mayor potencial didáctico para una química racional y razonable para los alumnos, sino que favorece una conceptualización de elemento más cercana al átomo físico.

Las respuestas de los profesores incluyen a todas las propiedades periódicas que planteamos en la plantilla, o a casi todas, con la excepción de algunos casos. Este hecho nos impide hacer una diferenciación interesante entre distintos perfiles porque no tenemos un contexto para matizarlas, como en el caso de los libros de texto, pero nos puede llevar a especular que, como en éstos, el uso de todas las propiedades periódicas posibles sugiere que el átomo y sus propiedades individuales, que dependen de la configuración electrónica, son los responsables de todas las demás propiedades periódicas.

Por otra parte, parece que los profesores consideran importante el hecho de tratar la cuestión de la pluralidad de formatos, al menos de una manera más flexible de lo que encontramos en los libros de texto. Por lo tanto sería interesante ahondar más en este sentido, con la ayuda de grupos más amplios de profesores que puedan contestar las encuestas y permitirnos algunas entrevistas sobre ello.

Finalmente, el estudio de la secuenciación de contenidos en las encuestas también nos muestra que el protagonismo del átomo es significativo. Vemos que es frecuente, como en los libros de texto, que se presenten los modelos atómicos antes de las tablas periódicas y

que éstas se traten consecutivamente; lo cual, como hemos explicado, podría sugerir el uso de ambas tablas como una sola, mediante una retórica que presenta la tabla de masas como un paso previo y defectuoso de la de números atómicos.

Como lo indican los esquemas condensados de las secuencias que elaboramos en el capítulo 6, hemos identificado algunas en las cuales se hace una transición desde lo micro hacia lo macro a través de las tablas periódicas y otras en las que se hace una transición dentro de lo micro, sin cambiar de nivel. La mayoría de ellas abordan la tabla periódica desde lo micro.

Estas consideraciones, junto con las respuestas a las preguntas sobre el estatus de la ley periódica, según las cuales parece haber unanimidad en considerarla como una clasificación, nos llevan a interpretar que a pesar de los posibles enfoques más atómicos o de sustancia, la función docente de la tabla periódica es, mayoritariamente, *clasificadora*.

También encontramos una tendencia a darle importancia al carácter explicativo de la tabla periódica cuando lo preguntamos en el contexto de la aceptación del sistema periódico y cuando preguntamos directamente por de las razones que hacen importante enseñar la tabla periódica. Como habíamos dicho, esta pregunta sobre las razones no nos da matices para hacer comparaciones interesantes, en cambio las respuestas a la pregunta sobre la aceptación del sistema periódico nos dice que los profesores consideran importante el carácter explicativo, lo cual no suele verse de manera explícita en los libros.

Por ello también podríamos decir que los profesores le otorgan una función explicativa a la tabla periódica pero no sabríamos aclarar de qué manera lo hacen, lo cual también sería un aspecto interesante para estudiar más a fondo mediante entrevistas u observación de clases. Por el momento podríamos atrevernos a poner la etiqueta de función *explicativa*.

Finalmente, es interesante notar que en las respuestas generales de las encuestas, y especialmente en las secuencias, encontramos pocas diferencias entre los aspectos que los profesores consideran pertinente tratar en ESO y en bachillerato. Esto es importante no solamente por las diferencias que puede haber entre las capacidades de abstracción en relación con las edades, como señalan Franco-Mariscal y Oliva-Martínez (2013c) en su investigación de las opiniones de profesores expertos sobre lo que se debe enseñar en

secundaria sobre la tabla periódica, sino también porque los estudiantes de bachillerato ya han hecho una elección respecto a su formación académica, mientras que la química de la ESO está dirigida a *todos* los estudiantes.

7.2.4 La función de la tabla periódica: entre catálogo de clasificación y herramienta heurística para el aprendizaje

Recapitulando, las etiquetas que hemos puesto a las funciones docentes que identificamos mediante el análisis son: *función de modelización*, *función clasificadora* (de átomos, de sustancias, de símbolos o del elemento complejo), *función heurística* (simbólica, electrostática, o macro-micro), y *explicativa*.

La que se utiliza más frecuentemente, tanto en las actividades propuestas en los artículos de innovación didáctica, como en los libros de texto y en la actividad docente de los profesores entrevistados, es la función *clasificadora*. Esta función se suele reforzar con el uso de la denominación frecuente de “clasificación periódica”. Esta función se puede enfocar hacia las sustancias, hacia los átomos, hacia los símbolos, o hacia el elemento como entidad compleja que abarca los anteriores. Esto se corresponde con las visiones de elemento de profesores universitarios que identificó Linares (2004) en sus tesis doctoral y que relacionó con las maneras de enseñar la tabla periódica.

Esta función clasificadora es importante en los cursos de química porque ayuda a los alumnos a recordar o encontrar los valores de determinadas propiedades de los átomos de los elementos y de las sustancias relacionadas cuando las necesitan para algún propósito determinado, como por ejemplo evaluar tipos de enlace, calcular masas moleculares, “predecir” algunas reacciones, etc. Ahora bien, aunque tiene cierta importancia, consideramos que se trata de una función cada vez menos necesaria en el contexto de la educación, entre otras cosas porque el acceso a la información digital inmediata, a la que tenemos actualmente, no requiere del conocimiento de ningún patrón de clasificación para hacer consultas, sino que sólo requiere de un clic en una casilla de una tabla periódica electrónica para encontrar cualquier tipo de información sobre los átomos de los elementos y sobre las sustancias relacionadas.

Apoyándonos en el marco teórico de la actividad química escolar (Izquierdo-Aymerich 2013, 2014), consideramos que esta función clasificadora no debería ser prioritaria en la

planeación de actividades y desarrollo de recursos didácticos como lo ha sido y como lo hemos señalado en esta investigación, porque no proporciona las herramientas eficientes para que los alumnos puedan construir las entidades teóricas que les sean útiles para razonar e intervenir reacciones químicas. Consideramos que esta función clasificadora perpetua la idea de que el objeto de estudio es el objeto clasificado, y si el objeto clasificado es el átomo, como es habitual, lo que se está perpetuando es la idea de que el átomo es el objetivo de estudio de los cursos de química.

Hemos encontrado algunas propuestas interesantes en el uso de la función heurística pero que se quedan ancladas en dos extremos epistemológicos: en la conceptualización pura o en el realismo ingenuo. Estas heurísticas son interesantes porque pueden ayudar, y con mucho, a la comprensión de la tabla periódica y de los átomos, incluso a la adquisición de habilidades de pensamiento, pero quedan desconectadas de los fenómenos de cambio de las sustancias y de la posibilidad de intervenir en ellos.

El uso interesante de la tabla periódica en el marco de la química escolar está relacionado con la función heurística, pero con una heurística modelizadora que ayude a los alumnos a transitar entre el mundo “real” y las entidades conceptuales que ellos mismos vean útiles como herramientas de razonamiento y que ellos mismos puedan construir. Esta función heurística modelizadora podría construirse con maneras de trabajar la tabla periódica cercanas a las que encontramos en los libros que usan las dos tablas periódicas (la de masas y la de números atómicos) de maneras diferentes, para hacer transiciones diferentes entre los niveles conceptual y realista, una a nivel macro y la otra a nivel micro.

Como ya lo decíamos en el capítulo 5, no conocemos resultados de investigaciones que indiquen que esta forma de usar la tabla periódica en los cursos de química sea más efectiva didácticamente hablando, pero sí es más cercana al camino intelectual seguido por los químicos en las décadas finales del siglo XIX e inicios del XX, en una época en que el sistema periódica fue una de las herramientas más importantes en la construcción y evolución de los modelos atómicos.

Consideramos, también, que la enseñanza de la tabla periódica mediante los “relatos” y las secuencias más habituales ayuda a perpetuar la idea del átomo como objetivo de estudio de la química. Estos relatos se refuerzan con la retórica que intenta relacionar las propiedades

macroscópicas con la estructura de los átomos, y esto podría ser una de las causantes de que los estudiantes no encuentren significado a las entidades que se les enseña y que están obligados a usar. Como afirman Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo:

“... the ‘dialectic’ of this atom with real chemical phenomena is in many cases lost; students do not become acquainted with such phenomena and therefore fail to understand the atomic theory, as they cannot ‘see’ what it comes to explain”. (2009, p. 452)

En este sentido, creemos que la propuesta de la Química Escolar (Izquierdo-Aymerich 2014, 2013), establece un marco interesante para explorar heurísticas de la tabla periódica, considerando el nivel ‘meso’ en las estructuras de las sustancias para construir entidades químicas que ayuden a los alumnos a intervenir y a razonar la intervención de los cambios químicos.

Consideramos, pues, que es necesario seguir explorando la didáctica de la tabla periódica por caminos que aporten ideas para fortalecer su potencial heurístico más que su carácter de catálogo promiscuo de átomos y de sustancias.

Capítulo 8

Conclusiones, implicaciones didácticas, limitaciones y prospectivas

Este capítulo está estructurado en dos partes. En la primera parte presentamos las conclusiones, estructuradas en relación con las preguntas de investigación, y en la segunda parte presentamos algunas implicaciones didácticas que pueden ofrecer nuestros resultados y diversos caminos posibles para continuar la investigación, así como las limitaciones de este estudio.

8.1 Conclusiones referidas a las preguntas de investigación

El objetivo general que nos planteamos fue el de identificar la función didáctica de la tabla periódica y su posible papel en la perpetuación de la idea de que los átomos son el objeto de estudio de la química, en vez de herramientas para pensar los cambios e intervenirlos mediante las manipulaciones, que son el verdadero objetivo de estudio de la química. Para alcanzarlo propusimos tres preguntas referidas a dicha función en cada uno de nuestros tres “objetos” de estudio: los artículos sobre la tabla periódica publicados durante los últimos 15 años en revistas de impacto de didáctica de las ciencias y de didáctica de la química, una muestra de libros de texto de química de ESO y de bachillerato y las respuestas a una encuesta que suministramos a un grupo de profesores, también de ESO y de bachillerato. A continuación nos referimos a cada una de estas preguntas.

8.1.1 Núcleos conceptuales y función de la tabla periódica en la investigación didáctica reciente

En los artículos “teóricos” de la muestra de revistas analizada encontramos que los núcleos conceptuales con mayor presencia son: el concepto de elemento químico; la cuestión del formato de la tabla periódica como problema; la explicación de la periodicidad; el desarrollo histórico y la aceptación del sistema periódico; el estatus epistemológico de la ley periódica; y el descubrimiento, aislamiento y utilidad de los elementos y las sustancias simples o compuestas relacionadas. Usando estos núcleos conceptuales clasificamos los artículos que proponen actividades, con el fin de hacer una primera comparación entre los

dos subconjuntos de la muestra. A continuación destacamos algunos aspectos de dicha comparación.

- En cuanto al tratamiento del concepto de elemento químico, encontramos un consenso generalizado en la polisemia del término y en su relación con la evolución histórica del significante. Las discrepancias están, principalmente, en las definiciones que se deben usar, especialmente en el contexto educativo. Algunos autores sugieren una definición puramente abstracta, otros proponen definiciones para abordar la química desde el nivel macroscópico y otros resaltan su función como nexo entre la estructura atómica de los átomos y las propiedades físicas y químicas macroscópicas de las sustancias. Detectamos una misma problemática en los artículos teóricos y en los que hacen alguna propuesta didáctica: la polisemia, el uso paralelo de niveles de representación diferentes, y la dificultad para diferenciar entre átomo, sustancia simple y elemento. En los artículos teóricos se trata el concepto de elemento ligado solidariamente a la periodicidad pero esta relación se descuida en las actividades propuestas en los otros artículos.
- Sobre el formato, encontramos un amplio debate en los artículos teóricos, no sólo en la elección del mejor formato sino también en la existencia misma de alguno que sea mejor que todos los otros, pero este debate tiene poca presencia en las actividades propuestas en los artículos de innovación didáctica. En cualquier caso, las propuestas que lo plantean le dan a la tabla periódica un papel más flexible y más rico que el que se le suele dar tradicionalmente, además que resaltan su complejidad.
- En cuanto a la explicación de la periodicidad, en los artículos teóricos encontramos dos ejes de discusión: un eje está entre las tendencias que consideran la tabla periódica como objetivo de explicación o como herramienta para explicar; el otro eje está entre la explicación basada en configuraciones electrónicas o la explicación en términos de la teoría atómica, del átomo químico. En las propuestas de actividades hay poca presencia de este tópico, pero la mayoría de los que tratan la configuración

electrónica lo hacen con el propósito de que los alumnos aprendan la correspondencia entre ésta y la posición en la tabla periódica. Es decir, se trata de enfoques más descriptivos que explicativos.

- En cuanto al desarrollo histórico y la aceptación del sistema periódico, el debate erudito gira alrededor de qué fue lo que influyó más para que éste fuera aceptado en la comunidad científica, principalmente se discute entre la acomodación de los elementos y las predicciones exitosas. En las actividades propuestas está ausente el debate, solo hay análisis de libros que evalúan este parámetro y reportan que el debate también está ausente en los libros que analiza.
- Sobre el estatus de la ley periódica, en los artículos teóricos se debate si se trata de una ley comparable con las de la física o si se ha de considerar su estatus propio. La mayoría de las posiciones la consideran con estatus propio pero el debate principal está en cuestionar si se trata de una teoría, un modelo, un esquema de clasificación, una idealización o una aproximación. En las propuestas didácticas no encontramos actividades que se refieran a ello, excepto algunos análisis de libros de texto que reportan que tal debate no está presente.
- En la clasificación que hicimos con los artículos que proponen alguna actividad didáctica, encontramos una gran cantidad de actividades basadas en juegos con el único objetivo de ayudar a los alumnos a memorizar y a familiarizarse con los nombres, los símbolos y la posición de los elementos en la tabla periódica. Pocas actividades consideradas “lúdicas” plantean un verdadero reto intelectual.
- Encontramos también un interesante debate que corresponde a la naturaleza de la Ciencia y a su historia, y que permite vislumbrar la dualidad del concepto de elemento, entre la realidad y la abstracción, que queda abierta a la reflexión; este debate no se concreta en propuestas didácticas.

- En algunos artículos se plantean actividades que ayudan a favorecer heurísticas interesantes, pero se quedan en el nivel simbólico o atómico y no conectan con el mundo de las sustancias.
- En los artículos hemos encontrado diversas funciones de la tabla periódica, a las cuales les hemos dado nombre y las hemos caracterizado de la siguiente manera:

Función clasificadora: Corresponde a la función que se otorga a la tabla periódica en la mayoría de las actividades propuestas en los artículos consultados. Se trata de entrenar al alumno para que aprenda a hacer corresponder una posición de la tabla periódica con una configuración electrónica determinada. Esta función también se suele utilizar tanto con las sustancias simples como con el elemento abstracto, pero no deja de ser una clasificación; es decir, se entrena al alumno para que aprenda a hacer corresponder un grupo de propiedades determinado con una posición en la tabla periódica.

Función heurística simbólica: Se utiliza la tabla periódica como una herramienta para desarrollar habilidades de pensamiento como el reconocimiento de patrones, pero se realiza en abstracto, con colores, formas, etc. La identificamos en muy pocas actividades.

Función heurística electrostática: Se utiliza para explicar la variación periódica de propiedades de átomos como el volumen atómico o la energía de ionización, mediante la aplicación de la ley de Coulomb a los electrones y a los protones, mientras se va aumentando el número atómico. La encontramos en pocas actividades. Puede ser considerada como una reducción del átomo químico al átomo físico.

Función de modelización: la encontramos en los artículos teóricos que usan la tabla periódica para reflexionar sobre la ontología y la epistemología de la materia y concretamente de los elementos.

Finalmente, mientras en las reflexiones teóricas que publican las revistas de didáctica de las ciencias se usa la tabla periódica con una *función modelizadora*, en las actividades (publicadas en las mismas revistas) encontramos que la función predominante es la *función clasificadora*. Esto también se refleja en la poca presencia de la explicación de la periodicidad en las

actividades propuestas y en la ausencia del debate sobre qué fue lo que aportó el desarrollo de la tabla periódica a la química y a la construcción de los modelos atómicos durante el final del siglo XIX y principio del XX que, como explican Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo (2009), significó una aventura intelectual de colaboración entre los físicos y los químicos.

8.1.2 La función de la tabla periódica en los libros de texto

En general encontramos poca correspondencia entre las maneras de usar la tabla periódica en las reflexiones teóricas que se han publicado últimamente y las maneras de usarla en los libros de texto. Mientras la investigación muestra la tabla periódica como una herramienta de reflexión y de modelización, en los libros de texto se usa como un fin en sí mismo y con muchas limitaciones como herramienta didáctica. A continuación resumimos algunas ideas sobre estas diferencias.

- En los libros de texto se suele usar la etiqueta elemento de manera indiscriminada, sin atender a la polisemia del nombre que sí da lugar a discusión en los artículos de investigación. Algunos libros son más rigurosos y utilizan diversas etiquetas en los contextos adecuados, pero la mayoría usa el mismo término para referirse tanto a átomos como a sustancias o a la entidad abstracta.
- Los atributos utilizados para caracterizar los elementos se centran, mayoritariamente, en los que se refieren a los átomos, especialmente en el *número atómico*, el *número de protones* y el *lugar en la tabla periódica*. La retórica habitual favorece el carácter atómico del elemento y en algunas ocasiones el carácter de sustancia simple, pero deja de lado el carácter abstracto y al átomo químico. Esto se refleja especialmente en el abandono de la masa atómica como atributo característico mientras se explica la tabla periódica.
- Se acostumbra a usar una pluralidad de propiedades periódicas, tanto atómicas como macroscópicas, con la intención de sugerir una relación directa entre la estructura atómica y el comportamiento de las sustancias. No se suele usar el concepto de mol ni el nivel ‘meso’ para relacionar los fenómenos con entidades conceptuales en el contexto de la periodicidad química.

- La tabla periódica en el formato recomendado por la IUPAC se suele presentar como la única representación existente. A veces se presenta como “la más habitual” pero no se advierte la posibilidad de la existencia de alguna otra forma de representar la ley periódica. Algunos libros presentan otros formatos pero lo hacen como una curiosidad.
- El intento de explicación de la periodicidad se queda en descripción y en hacer corresponder la configuración electrónica con una casilla de la tabla periódica. Cuando se explica la variación periódica de alguna propiedad, ésta es de carácter atómico (radio atómico, energía de ionización, etc.) y se explica en términos electrostáticos.
- Existe un “relato” característico para presentar la historia de la tabla periódica, que consiste en darle el mérito a Mendeleiev de la ordenación de los elementos y de las predicciones que hizo con ella, pero se señala el error de haber usado las masas atómicas. Los libros explican que este supuesto error se corrige con el trabajo de Moseley: el descubrimiento de la correspondencia entre el número de protones y una ordenación correcta.
- En las secuencias más habituales para introducir la tabla periódica, ésta se presenta después de describir los modelos atómicos en orden cronológico y mediante una retórica de lógica positivista, según la cual cada modelo se mejora con un experimento que desvirtúa el modelo anterior. Se suelen presentar las dos tablas periódicas de manera consecutiva, que “funciona” didácticamente como una sola.
- El “relato” habitual que encontramos tiene diversas variantes según si se hace más énfasis en el átomo físico, en el átomo de la mecánica cuántica, en el átomo químico, o en el elemento abstracto. En todos estos, excepto en el que hace énfasis en el átomo químico, la tabla periódica cumple una función *clasificadora*. El “relato” que hace énfasis en el átomo químico utiliza la tabla periódica con una función que hemos llamado *heurística macro-micro*, que pasa del modelo atómico de Dalton al de Rutherford usando la tabla periódica de masas, y pasa de éste al “modelo actual” (que puede ser el de Bohr y/o el modelo de la mecánica cuántica) usando la tabla

periódica de números atómicos. Con ello, identificamos en los libros una interpretación sesgada de la riqueza conceptual de la tabla/sistema periódico, con la finalidad de presentar un “sistema de química” basado en la teoría atómica moderna, aparentemente coherente, pero lo consigue a costa de olvidar los fenómenos químicos reales y la naturaleza de la ciencia (la química, en este caso) que los interpreta laboriosamente.

Finalmente podemos decir que, a pesar de las variaciones que hemos señalado, existe cierta homogeneidad en la manera de tratar la tabla periódica en los libros de texto que acaba contribuyendo a mantener una idea deformada de la ciencia y, concretamente, de la tabla periódica como construcción humana. La idea de progresión lineal de la ciencia, junto con el uso habitual de la *función clasificadora* de la tabla periódica, principalmente de átomos, más que como una herramienta heurística, refuerza la idea de que el átomo es el principal objetivo de estudio de la química.

8.1.3 La función de la tabla periódica en las respuestas de los profesores

A partir de las respuestas a las encuestas que suministramos a los profesores, encontramos información valiosa para comparar el ámbito de la práctica docente con los ámbitos de la investigación didáctica y la ciencia “normalizada” que se publica en libros de texto. Respecto las maneras de usar la tabla periódica podemos decir que las opiniones y prácticas de los profesores están a medio camino entre la flexibilidad de la reflexión teórica y la normalización de los libros de texto. A continuación presentamos las ideas más importantes de lo que encontramos en las encuestas sobre las funciones de la tabla periódica.

- Los profesores usan una mayor pluralidad de etiquetas para referirse a la entidad elemento químico que la que usan los libros de texto, y también usan una mayor variedad de atributos para caracterizarlos. En cuanto al uso de propiedades periódicas parece haber más falta de criterio porque la mayoría de profesores señaló casi todas las propiedades que propusimos en la encuesta y no pudimos identificar ningún tipo de tendencia.
- Nos llamó la atención que los profesores consideran importante el uso de diversos formatos de la tabla periódica y que no están de acuerdo con presentarla como si

fuera la única representación posible o la más exacta, sino como la más útil de diversas opciones. Esto contrasta con lo que encontramos en los libros de texto.

- La secuenciación de los contenidos para introducir la tabla periódica presenta características similares a las que encontramos en los libros de texto, especialmente en que suelen presentar los modelos atómicos antes que las tablas periódicas y éstas las suelen presentar también consecutivamente. Esta similitud nos sugiera un “relato” similar al de los libros de texto, en el que la tabla periódica de masas es un paso previo, todavía con defectos, a la tabla periódica de números atómicos que es la que funciona correctamente. No pudimos establecer matices entre diversos relatos más allá de las descripciones que hicimos de las secuencias, porque algunos perfiles nos resultaron incoherentes en la visión de elemento que construimos a partir de las etiquetas, de los atributos y de las propiedades periódicas.
- En la caracterización de las secuencias, como se puede ver en los diagramas condensados que construimos, encontramos que la mayoría de los profesores de la muestra abordan la tabla periódica desde los átomos y algunos la usan para relacionarlos con las propiedades macroscópicas pero otros se quedan en los aspectos atómicos. Sólo encontramos un caso que aborda la tabla periódica desde las propiedades macroscópicas para pasar luego a los átomos.
- Se puede ver una tendencia casi unánime en considerar la ley periódica como una ley de clasificación y, al mismo tiempo, como una ley con carácter normativo más que explicativo.
- En cuanto a las funciones que encontramos, nos atrevemos a decir que la tabla periódica cumple la *función clasificadora* y, especulando bastante, también podría tener una *función explicativa aparente*, porque nos falta información y nos parece que se trata de una función que impone la explicación, más que tratarse el uso para responder a preguntas que la requieren.

En resumen, la similitud entre las secuencias propuestas por los profesores y las respuestas sobre los aportes de la ley periódica en el momento histórico que se produjo, nos llevan a pensar que también pueden comunicar una idea positivista de la química en su práctica

docente. Esto se refuerza con la importancia que le dan a la *función clasificadora* de la tabla periódica y el protagonismo del átomo en las secuencias para introducirla. De todas maneras, encontramos diferencias importantes respecto al uso del formato de la tabla periódica en los libros de texto, porque los profesores consideraron importante el hecho de usar diversos formatos y no presentar la tabla periódica como “la” única.

8.1.4 La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química. Clasificar o aprender

A partir del análisis de los artículos hemos identificado núcleos teóricos que están presentes en la reflexión didáctica actual sobre la tabla periódica. Con estos tópicos y con las diferentes maneras de tratarlos tanto en los artículos teóricos como en los que hacen propuestas de actividades didácticas, hemos diseñado un instrumento de análisis e interpretación de contenido en los libros de texto y en la práctica habitual de profesores de química. Dicho instrumento, que es un aporte de esta investigación al cual nos referiremos más adelante, nos ha servido para interpretar la narrativa de los libros de texto y la secuenciación que hacen los profesores para introducir la tabla periódica y, con ello, poder construir “relatos” en los que identificamos su función.

Hemos encontrado que la tabla periódica cumple funciones diferentes en dos ámbitos que diferenciamos al dividir el conjunto de artículos analizados en dos grupos: el ámbito de la reflexión teórica y el ámbito de la innovación didáctica. En el ámbito teórico se usa la tabla periódica como herramienta de indagación sobre la ontología y la epistemología de la materia, concretamente en la conceptualización de la entidad *elemento químico*, cumpliendo así una función que hemos llamado *función modelizadora*; mientras que en las actividades que se proponen en los artículos publicados en las mismas revistas, se utiliza la tabla periódica como una herramienta de clasificación de sustancias o de átomos, cumpliendo una función que hemos llamado *función clasificadora*.

En algunos artículos de innovación didáctica (pocos) encontramos propuestas que utilizan la tabla con funciones heurísticas, que hemos llamado *función heurística simbólica* y *función heurística electrostática* y que, empleando el potencial de la tabla periódica como herramienta de pensamiento, se establecen en dos costados de un eje epistemológico: la abstracción de la periodicidad de símbolos, de colores, de formas, etc., a un lado, y la visión realista de las

partículas subatómicas al otro lado. En este uso heurístico, nos preguntábamos ¿dónde quedan las sustancias? ¿dónde está la química?

En los libros de texto que analizamos encontramos que predomina la *función clasificadora* que ya habíamos identificado en el ámbito de la innovación didáctica. Esta función se establece mediante los diversos “relatos” que hemos construido sobre la manera de introducir la tabla periódica. Hemos visto que éstos tienen una base común y se diferencian entre sí según el “objeto” que se clasifica en la Tabla después de explicar su estructura y el modelo atómico que se usa para abordarla, que generalmente es el modelo de Rutherford, el modelo de Bohr o el modelo de la mecánica cuántica.

En dos libros encontramos un uso diferente de la tabla periódica. A diferencia de los otros libros, estos dos no presentan la tabla de masas y la de números atómicos de manera consecutiva. Presentan primero la tabla periódica de masas y con ella acompañan al lector en una transición que se hace en el mundo macroscópico: pasar de las propiedades macroscópicas observadas al fenómeno idealizado de su periodicidad. Después presentan la tabla periódica de números atómicos. La segunda transición se hace entonces en el mundo microscópico: pasar del átomo imaginado que explica la periodicidad al átomo realista que usan los físicos.

Esta doble transición, que favorece el uso de la tabla periódica de manera heurística, la hemos llamado *función heurística macro-micro*. Se trata de una función cercana al enfoque modelizador que caracteriza la química escolar que configura nuestro marco teórico (Izquierdo-Aymerich 2013, 2014). Como decíamos en el capítulo 5, no conocemos resultados de investigaciones que indiquen que esta manera de usar la tabla periódica sea más efectiva didácticamente hablando, pero sí podemos usarla para hacer un paralelismo con la función heurística que representó a finales del siglo XIX y principios del XX, durante el tiempo que pasó entre la formulación de la ley periódica con el criterio de la masa atómica y la formulación de la ley periódica con el criterio de números atómicos.

Finalmente, hemos visto que hay una brecha entre la *función clasificadora* que cumple la tabla periódica en la ciencia “normalizada” del bachillerato y la ESO y la función heurística, o modelizadora, que podría favorecer una actividad química escolar. Mientras la primera mantiene la idea de que el átomo (físico) es un objetivo en sí mismo, en la segunda el

átomo (químico) es una herramienta de pensamiento, una respuesta a la pregunta que surge ante una necesidad de explicación. Hace falta mucha investigación sobre esta función heurística de la tabla periódica para poder usar su potencial didáctico de tal manera que contribuya a una actividad química basada en la intervención razonada de los cambios químicos; pero estamos convencidos de que para favorecer una actividad química genuina, una química escolar, la tabla periódica tiene mucho más potencial como herramienta de aprendizaje que el que le estamos otorgando como manera de clasificar. Tal vez sea interesante, como decíamos antes, hacer de herejes contra la tabla periódica de la pared, monolítica, que sólo clasifica; y bajarla, doblarla, estirla, arrugarla... en fin, usarla para aprender.

8.2 Implicaciones didácticas, limitaciones y prospectivas

Las conclusiones de esta investigación tienen las limitaciones de validez que son evidentes en relación con el contexto y la selección de las muestras, pero también tiene algunas limitaciones particulares que hemos ido señalando y que al mismo tiempo se nos presentan como orientaciones y motivación para seguir investigando sobre este tema. A continuación mencionamos algunos aportes de este trabajo y posibles perspectivas de futuro teniendo en cuenta dichas limitaciones.

- Como cualquier revisión bibliográfica, la que hicimos para esta investigación es limitada y subjetivamente particular, pero el hecho de acotarla, de clasificar y reseñar los artículos además de analizarlos, no sólo nos ha servido para diseñar los instrumentos de análisis e interpretación que utilizamos en este trabajo, sino que constituye una herramienta de consulta útil para cualquier investigación sobre la tabla periódica y sobre su enseñanza.
- Los esquemas bidimensionales (epistemológico-ontológico) que hemos diseñado para interpretar el uso de las etiquetas de elemento químico, de los atributos que los caracterizan, de las propiedades periódicas de los elementos y de la secuenciación de tópicos, nos han resultado útiles para nuestra investigación; pero consideramos que también son útiles para cualquier investigación relacionada, no sólo con la tabla periódica sino también con la transición entre estos niveles que forman parte de la

disciplina química y su lenguaje. Somos conscientes de la necesidad de trabajar más sobre la calibración y validación de estos instrumentos pero precisamente esto lo consideramos, también, una posible continuidad de nuestra investigación. Sería interesante trabajar más a fondo sobre las representaciones gráficas de determinados conceptos según su posición relativa en las dimensiones ontológica y epistemológica, tanto desde el punto de vista histórico como desde el punto de vista de las representaciones de los profesores y de los alumnos. Esto podría ser útil para estudiar qué es lo que pensamos los profesores cuando enseñamos el “carácter metálico” como propiedad periódica, por ejemplo, o cuando llamamos a los elementos “bloques fundamentales de la materia”, etc.

- En diversas partes de esta memoria nos hemos referido al poco número de encuestas respondidas que pudimos obtener para el análisis. De hecho, durante todo el proceso de investigación tuvimos que ir modificando algunos itinerarios y determinados objetivos de estudio en la medida en que no encontrábamos disposición para la colaboración en algunos colectivos de profesores. Aunque consideramos que este hecho por sí mismo ya genera motivos importantes para la reflexión de todos los que formamos parte del ámbito de la educación, lo que aquí nos interesa resaltar es que el hecho de tener pocas encuestas respondidas y algunas de ellas incompletas, y el interés de continuar esta investigación, nos lleva a señalar la ampliación de la muestra y la incorporación de entrevistas como un posible camino para continuar lo que empezamos con este trabajo.
- En cuanto al marco teórico de la química escolar, consideramos que este trabajo puede ser un grano de arena en la búsqueda de estrategias para incorporar la función modelizadora de la tabla periódica en el diseño de recursos didácticos como libros de texto o secuencias didácticas para unidades determinadas. Sería interesante explorar el uso del nivel “meso” en relación con las propiedades periódicas de los elementos como soporte para ayudar a los estudiantes a “ver” la necesidad de entidades teóricas y a construirlas para explicar los cambios químicos. En este sentido, sería interesante trabajar en procesos de ...evaluación-diseño-evaluación-diseño... de unidades didácticas en las cuales la tabla periódica sea una herramienta de pensamiento para la química escolar.

- Finalmente, el estudio de los libros de texto es un campo que siempre nos ha interesado y consideramos que su análisis es de crucial importancia desde diferentes puntos de vista. Concretamente, los resultados que encontramos en esta investigación nos llevan a preguntarnos por la relación que hay entre el proyecto que tiene un autor para “su libro de texto ideal” y el producto que se acaba publicando al final, teniendo en cuenta los diversos factores que influyen, especialmente el interés económico condicionante de las editoriales sobre aspectos tan importantes como el uso de las figuras, el tipo de actividades que se ofrecen a los lectores, etc.

Índice de tablas

Tabla 1. Revistas consultadas _____	59
Tabla 2. Distribución de los artículos seleccionados _____	61
Tabla 3. El concepto de elemento _____	62
Tabla 4. El formato de la tabla periódica _____	67
Tabla 5. Explicación de la periodicidad _____	80
Tabla 6. Desarrollo y aceptación del sistema periódico _____	84
Tabla 7. Un elemento específico _____	87
Tabla 8. Una propiedad en particular _____	90
Tabla 9. Actividades sobre el concepto de elemento _____	94
Tabla 10. Actividades sobre el formato de la tabla periódica _____	102
Tabla 11. Actividades que tratan la explicación de la periodicidad _____	108
Tabla 12. Actividades sobre el desarrollo y la aceptación del sistema periódico _____	110
Tabla 13. Clasificación de los artículos que proponen juegos _____	114
Tabla 14. Otros tipos de actividades _____	121
Tabla 15. Análisis de libros de texto _____	127
Tabla 16. Revisiones, reseñas y otras propuestas _____	128
Tabla 17. Etiquetas para "elemento químico" _____	186
Tabla 18. Atributos de los elementos químicos _____	187
Tabla 19. Propiedades periódicas de los elementos químicos _____	189
Tabla 20. Secuencia para introducir la tabla periódica _____	191
Tabla 21. Aspectos de la tabla periódica en los libros de texto _____	192
Tabla 22. Atributos de la ley periódica en los libros de texto _____	194
Tabla 23. Acciones para la aceptación de la ley periódica _____	196
Tabla 24. Razones para enseñar la tabla periódica en los libros de texto _____	198
Tabla 25. Tabla de frecuencias del uso de etiquetas para referirse a "elemento químico" _____	200
Tabla 26. Tabla de frecuencias de uso de atributos de los elementos químicos _____	201
Tabla 27. Tabla de frecuencias del uso de propiedades como propiedades periódicas _____	203
Tabla 28. Tabla de frecuencias sobre los aspectos de la tabla periódica tratados _____	208
Tabla 29. Tabla de frecuencias del uso de atributos de la ley periódica _____	210
Tabla 30. Tabla de frecuencias sobre la referencia a acciones para la aceptación de la ley periódica _____	212
Tabla 31. Tabla de frecuencias del uso de razones para enseñar la tabla periódica _____	214

Tabla 32. Perfil del libro de texto LE1 _____	221
Tabla 33. Perfil del libro de texto LE2 _____	223
Tabla 34. Perfil del libro de texto LE3 _____	225
Tabla 35. Perfil del libro de texto LE4 _____	227
Tabla 36. Perfil del libro de texto LE5 _____	229
Tabla 37. Perfil del libro de texto LE6 _____	231
Tabla 38. Perfil del libro de texto LB1 _____	233
Tabla 39. Perfil del libro de texto LB2 _____	235
Tabla 40. Perfil del libro de texto LB3 _____	237
Tabla 41. Perfil del libro de texto LB4 _____	239
Tabla 42. Perfil del libro de texto LB5 _____	241
Tabla 43. Perfil del libro de texto LB6 _____	243
Tabla 44. Perfil del libro de texto LB7 _____	245
Tabla 45. Perfil del libro de texto LB8 _____	247
Tabla 46. Perfil del libro de texto LB9 _____	249
Tabla 47. Perfil del libro de texto LB10 _____	251
Tabla 48. Perfil del libro de texto LB11 _____	253
Tabla 49. Perfil del libro de texto LB12 _____	255
Tabla 50. Diagramas condensados de las secuencias en los libros de texto según la forma de abordar la tabla periódica _____	264
Tabla 51. Etiquetas usadas por profesores para referirse a los elementos químicos _____	271
Tabla 52. Pertinencia del uso de atributos de los elementos químicos _____	275
Tabla 53. Pertinencia del uso de propiedades periódicas por parte de los profesores _____	277
Tabla 54. Tabla de frecuencias sobre la pertinencia de tratar aspectos de la TP en ESO	281
Tabla 55. Tabla de frecuencias sobre el nivel de acuerdo de los profesores a usar atributos de la ley periódica _____	283
Tabla 56. Tabla de frecuencias sobre la pertinencia de tratar acciones importantes para la aceptación de la ley periódica _____	284
Tabla 57. Tabla de frecuencias sobre las razones para enseñar la tabla periódica _____	286
Tabla 58. Perfil de la Persona 2 _____	296
Tabla 59. Perfil de la Persona 5 _____	302
Tabla 60. Perfil de la Persona 6 _____	305
Tabla 61. Perfil de la Persona 7 _____	310
Tabla 62. Perfil de la Persona 8 _____	313

Tabla 63. Perfil de la Persona 9_____	316
Tabla 64. Perfil de la Persona 10_____	320
Tabla 65. Perfil de la Persona 11_____	323
Tabla 66. Perfil de la Persona 12_____	326
Tabla 67. Perfil de la Persona 13_____	328
Tabla 68. Diagramas condensados de las secuencias según la forma de abordar la tabla periódica_____	334

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de la metodología general _____	152
Figura 2. Ejes de las dimensiones "epistemológica" y "ontológica" _____	155
Figura 3. Representación de "sustancia simple" en el plano _____	156
Figura 4. Representación se "sustancia elemental" en el plano _____	157
Figura 5. Representación de todas las etiquetas en el plano _____	157
Figura 6. Esquema de interpretación de los atributos (pregunta 2) _____	161
Figura 7. Esquema de interpretación de las propiedades (pregunta 3) _____	165
Figura 8. Esquema para interpretar el orden de las secuencias (pregunta 4) _____	170
Figura 9. Gráfico bidimensional de interpretación (etiquetas) _____	187
Figura 10. Gráfico bidimensional de interpretación (atributos) _____	188
Figura 11. Gráfico bidimensional de interpretación (propiedades) _____	190
Figura 12. Gráfico de secuencia para libros de texto _____	192
Figura 13. Red sistémica para la interpretación de los aspectos de la tabla periódica ____	193
Figura 14. Red sistémica para la interpretación de los atributos de la ley periódica ____	195
Figura 15. Red sistémica de las acciones para la aceptación de la ley periódica _____	197
Figura 16. Red sistémica para representar las razones para enseñar la tabla periódica __	199
Figura 17. Gráfico de frecuencias del uso de etiquetas para referirse a "elemento químico" _____	200
Figura 18. Gráfico de frecuencia de uso de atributos de los elementos químicos _____	202
Figura 19. Gráfico de frecuencia del uso de propiedades como propiedades periódicas	204
Figura 20. Gráfico sobre las secuencias para introducir la tabla periódica _____	205
Figura 21. Red sistémica de los aspectos de la tabla periódica tratados _____	209
Figura 22. Red sistémica sobre el uso de atributos de la ley periódica _____	211
Figura 23. Red sistémica sobre la referencia a acciones para la aceptación de la ley periódica _____	213
Figura 24. Red sistémica sobre el uso de razones para enseñar la tabla periódica ____	216
Figura 25. Esquema sobre la visión de elemento químico comunicada en los libros de texto _____	217
Figura 26. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE1 _____	220
Figura 27. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE2 _____	222

Figura 28. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE3	224
Figura 29. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE4	226
Figura 30. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LE5	228
Figura 31. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB1	232
Figura 32. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB2	234
Figura 33. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB3	236
Figura 34. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB4	238
Figura 35. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB5	240
Figura 36. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB6	242
Figura 37. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB7	244
Figura 38. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB8	246
Figura 39. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB9	248
Figura 40. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB10	250
Figura 41. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB11	252
Figura 42. Gráficos sobre el uso de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en LB12	254
Figura 43. Tendencias en el uso de etiquetas de "elemento químico" con alumnos de ESO	272
Figura 44. Tendencias en el uso de etiquetas de "elemento químico" con alumnos de bachillerato	273

Figura 45. Tendencias en el uso de etiquetas de "elemento químico" con alumnos de ESO y bachillerato _____	273
Figura 46. Tendencias de la pertinencia de uso de atributos de los elementos químicos en ESO y bachillerato _____	276
Figura 47. Tendencias sobre la pertinencia de uso de las propiedades periódicas en ESO y bachillerato _____	277
Figura 48. Secuencias consideradas pertinentes en ESO y en bachillerato _____	279
Figura 49. Red sistémica sobre la pertinencia de tratar aspectos de la TP en ESO y en bachillerato _____	281
Figura 50. Red sistémica sobre el uso de atributos de la ley periódica en ESO y bachillerato _____	283
Figura 51. Red sistémica de tendencias sobre la pertinencia de tratar acciones importantes para la aceptación de la ley periódica en ESO y en bachillerato _____	285
Figura 52. Red sistémica de tendencias sobre el acuerdo con las razones para enseñar la TP en ESO y bachillerato _____	287
Figura 53. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la persona 1 _____	289
Figura 54. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 2 _____	290
Figura 55. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 2 _____	291
Figura 56. Red sistémica de los aspectos de la TP relacionados con el formato según la Persona 2 _____	292
Figura 57. Red sistémica sobre el estatus de la ley periódica según la Persona 2 _____	293
Figura 58. Red sistémica sobre las predicciones, acomodaciones y correcciones según la Persona 2 _____	294
Figura 59. Red sistémica sobre las razones para enseñar la TP según la Persona 2 _____	295
Figura 60. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 4 _____	297
Figura 61. Perfil de la Persona 4 _____	299
Figura 62. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO según la Persona 5 _____	300
Figura 63. Gráfico sobre la secuencia ideal para introducir la TP en ESO según la Persona 5 _____	301

Figura 64. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 6 _____	303
Figura 65. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 7 _____	306
Figura 66. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 7 _____	307
Figura 67. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 8 _____	311
Figura 68. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 8 _____	312
Figura 69. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 9 _____	314
Figura 70. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 10 _____	317
Figura 71. Gráfico sobre las secuencias ideales para introducir la TP según la Persona 10 _____	318
Figura 72. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en bachillerato según la Persona 11 _____	321
Figura 73. Gráfico sobre la secuencia ideal para introducir la TP en bachillerato según la Persona 11 _____	322
Figura 74. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en bachillerato según la Persona 12 _____	324
Figura 75. Gráfico sobre la secuencia ideal para introducir la TP en bachillerato según la Persona 12 _____	325
Figura 76. Gráficos sobre la pertinencia de etiquetas, atributos y propiedades de "elemento químico" en ESO y bachillerato según la Persona 13 _____	327
Figura 77. Tendencias observadas en el uso de etiquetas de "elemento químico" en los libros de texto y las encuestas _____	338
Figura 78. Tendencias observadas sobre el uso de atributos en los libros de texto y las encuestas _____	342
Figura 79. Tendencias observadas sobre las propiedades periódicas en los libros de texto y las encuestas _____	345
Figura 80. Secuencias para introducir la tabla periódica propuestas en los libros de texto y en las encuestas _____	348
Figura 81. Redes sistémicas sobre la discusión de formatos de la TP en los libros de texto y en las encuestas _____	352

Figura 82. Redes de sistemas sobre el estatus de la ley periódica en los libros de texto y las encuestas _____	355
Figura 83. Redes de sistemas sobre la aceptación de la tabla periódica en los libros de texto y las encuestas _____	357
Figura 84. Redes sistémicas sobre las razones para enseñar la tabla periódica en los libros de texto y las encuestas _____	359
Figura 85. Red sistémica de los artículos teóricos _____	365
Figura 86. Red sistémica de los artículos que presentan propuestas didácticas _____	366
Figura 87. Red sistémica del tipo de actividades en los artículos con propuestas _____	367

Bibliografía

AGUDELO, C., 2008. Estratègies retòriques en els llibres de text: diferents aproximacions al mateix contingut. El cas de la llei periòdica. *Cinquena Trobada de Joves Investigadors dels Països Catalans*. Vic, Catalunya

AGUDELO, C., MARZÁBAL, A. y IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2009. Distintas narrativas para un mismo contenido: la Tabla Periódica en los libros de texto. *Enseñanza de las ciencias. Número extra VIII congreso*. Barcelona: s.n., pp. 2892-2895.

AGUILAR, O., CASTRO, R., SÁNCHEZ, J.J., LÓPEZ-SANDOVAL, H. y BARBA-BEHRENS, N., 2012. Química inorgánica medicinal: vanadio, platino, oro. *Educación Química*, vol. 23, no. 1, pp. 33-40.

AKEROYD, M., 2003. Predictions, retrodictions and the periodic table. *Foundations of Chemistry*, vol. 5, no. 1, pp. 85-88.

ALVAREZ, S., 2013. La taula periòdica, una àgora de l'art i la ciència. *Educació Química*, no. 15, pp. 4-18.

ANTA, A., 2013. Diseña tu propia tabla periódica. *Educació Química*, no. 15, pp. 53-61.

ARISTIZÁBAL-FÚQUENE, A., 2015. El platino: contribuciones sociohistóricas y científicas desde el siglo XVIII. Parte I. *Educación Química*, vol. 26, no. 2, pp. 146-151.

BANKS, A.J. y JACOBSEN, E.K., 2009. A Year in the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1144-1146.

BARNES, E., 2005. On Mendeleev's predictions: comment on Scerri and Worrall. *Studies in History and Philosophy of science*, vol. 36, no. 4, pp. 801-812.

BARTET, D., 2002. Yodo. *Educación Química*, vol. 13, no. 1, pp. 69-70.

BASCUÑÁN, A., 2008. Mendeleiev, el que pudo haber sido y no fue. *Educación Química*, vol. 19, no. 2, pp. 152-158.

BAYIR, E., 2014. Developing and playing chemistry games to learn about elements, compounds, and the periodic table: elemental periodica, compoundic, and groupica. *Journal of Chemical Education*, no. 91, pp. 531-535.

BENSAUDE-VINCENT, B., 1991. Mendeleiev: Historia de un descubrimiento. *Historia de las ciencias*. 1. Madrid: Catedra, Teorema, pp. 649.

BENSAUDE-VINCENT, B., 1994. Construire le tableau périodique des éléments. Pour une utilisation pédagogique d'informations historiques. *Bulletin de l'Union des physiciens*, vol. 88, no. 766, pp. 1109-1121.

BENT, H.A. y WEINHOLD, F., 2007. News from the Periodic Table: An Introduction to «Periodicity Symbols, Tables, and Models for Higher-Order Valency and Donor-Acceptor Kinships». *Journal of Chemical Education*, vol. 84, no. 7, pp. 1145-1146.

- BONIFÁCIO, V.D.B., 2012. QR-Coded audio periodic table of the elements: a mobile-learning tool. *Journal of Chemical Education*, vol. 89, no. 4, pp. 552-554.
- BRITO, A., RODRÍGUEZ, M.A. y NIAZ, M., 2005. A Reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, no. 1, pp. 84-111.
- BRUSH, S.G., 2007. Predictivism and the periodic table. *Studies in History and Philosophy of science*, vol. 38, no. 1, pp. 256-259.
- BURGENER, M., 2009. The periodic table of the elephants. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1149-1150.
- CAAMAÑO, A., 2011. Sustancias químicas elementales y compuestos químicos. Una propuesta didáctica con un enfoque investigativo y de modelización en los niveles macroscópico y submicroscópico. *Investigación en la escuela*, no. 74, pp. 45-58.
- CADY, S.G., 2012. Elements are everywhere: a crossword puzzle. *Journal of Chemical Education*, no. 89, pp. 524-525.
- CAETANO DA ROCHA, J.R. y CAVICCHIOLI, A., 2005. Uma abordagem alternativa para o aprendizado dos conceitos de átomo, molécula, elemento químico, substância simples e substância composta, nos ensinos fundamental e médio. *Química nova na escola*, no. 21, pp. 29-33.
- CAMACHO, J.P., GALLEGO, R. y PÉREZ, R., 2007. La ley periódica. Un análisis histórico epistemológico y didáctico de algunos textos de enseñanza. *Educación Química*, vol. 18, no. 4, pp. 278-288.
- CARROLL, B., 2009. Chlorine: it sort of picked me. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1133.
- CHAMIZO, J.A., 2013. *De la paradoja a la metáfora. La enseñanza de la química a partir de sus modelos*. 1a. México, DF: Siglo Veintiuno Editores.
- CHAMIZO, J.A. y GUTIÉRREZ, M.Y., 2004. Conceptos fundamentales en química 1. Valencia. *Educación Química*, vol. 15, no. E, pp. 359-365.
- CHRISTIE, M., 1994. Philosophers versus chemists concerning «laws of nature». *Studies in History and Philosophy of science*, vol. 25, pp. 613-629.
- CHRISTIE, M. y CHRISTIE, J.R., 2000. «Laws» and «theories» in chemistry do not obey the rules. *Of minds and molecules*. N. Bhushan & S. Rosenfeld (Eds.). New York: Oxford: University press, pp. 34-50.
- CLARK, R.W., 2008. Author of «The flyleaf periodic table» responds. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 11, pp. 1493.
- CLARK, R.W. y WHITE, G.D., 2008. The flyleaf periodic table. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 4, pp. 497.
- CLAXTON, G., 1994. *Educar mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Antonio Machado.

- CONTRERAS-CADENA, D.A., GÓMEZ-PECH, C., RANGEL-GARCÍA, M., RUIZ-HERNÁNDEZ, A., MARTINEZ-BULIT, P. y BARBA-BEHRENS, N., 2014. La importancia del vanadio en los seres vivos. *Educación Química*, vol. 25, no. E1, pp. 245-253.
- CRISWELL, B., 2007. Mistake of Having Students Be Mendeleev for Juste a Day. *Journal of Chemical Education*, vol. 84, no. 7, pp. 1140-1144.
- CRONYN, M.W., 2003. The proper place for hydrogen in the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 8, pp. 947-951.
- CUERVA, J. y MARCO-STIEFEL, B., 2005. Aproximación vía internet a la historia y a la actualidad de los elementos químicos. Una propuesta para su enseñanza. *Enseñanza de las ciencias. Número extra VII congreso*. Granada: s.n.,
- CUNHA, C., 2009. A história da síntese de Elementos transurânicos e extensão da tabela periódica numa perspectiva fleckiana. *Química nova na escola*, vol. 31, no. 4, pp. 246-250.
- CUNNINGHAM, K., 2005. More Elementary Riddles. *Journal of Chemical Education*, vol. 82, no. 4, pp. 539-540.
- DE FARIA, T.A., MOISÉS, H.P. y CODOGNOTO, L., 2010. Tabela periódica - Um super trunfo para alunos do ensino fundamental e médio. *Química nova na escola*, vol. 32, no. 1, pp. 22-25.
- DEL CARMEN, L. y JIMÉNEZ, M.P., 2010. Libros de texto: Un recurso flexible. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 66, pp. 48-55.
- DE MATOS, C., EICHLER, M.L., MISKINIS, T.D. y DEL PINO, J.C., 2012. A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da tabela periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 11, no. 3, pp. 521-545.
- DE PRO, C. y DE PRO, A., 2011. ¿Qué estamos enseñando con los libros de texto? La electricidad y la electronica de Tecnología en 3o ESO. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, vol. 8, no. 2, pp. 149-170.
- DIENER, L., 2009a. Mercurial about mercury. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1139.
- DIENER, L., 2009b. News from online: the periodic table of the elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1163-1166.
- DJERASSI, C. y HOFFMAN, R., 2001. Oxygen. *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 3, pp. 283-284.
- DKEIDEK, I.M., 2003. The elements Drawing. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 5, pp. 501-502.
- DOMÈNECH-CALVET, A.M., 2014. *L'ús de les controvèrsies sociocientífiques per promoure la competència científica a l'educació secundària: el cas de la medicalització i el TDA-H*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

DREYFUSS, D., 2000. A rolling periodic table. *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 4, pp. 434.

ERDURAN, S., 2007. Breaking the law: promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*, vol. 9, no. 3, pp. 247-263.

ERDURAN, S., 2013. Philosophy, chemistry and education: An introduction. *Science & Education*, no. 22, pp. 1559-1562.

ERDURAN, S. y SCERRI, E.R., 2002. The nature of chemical knowledge and chemical education. En: J. GILBERT, O. DE JONG, R. JUSTI, D. TREAGUST y J. VAN DRIEL (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. 1. Netherlands: Kluwer academic publishers, pp. 7-27.

EYMUR, G., ÇETIN, P. y GEBAN, Ö., 2013. Analysis of the alternative conceptions of preservice teachers and high school students concerning atomic size. *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 8, pp. 976-980.

FRANCO-MARISCAL, A.J., 2005. Como muestra un botón: un ejemplo de trabajo práctico en el área de ciencias de la naturaleza en el segundo curso de educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 23, no. 2, pp. 275-292.

FRANCO-MARISCAL, A.J., 2006. La lotería de los átomos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 50, pp. 116-122.

FRANCO-MARISCAL, A.J., 2007. La búsqueda de los elementos en secundaria. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 51, pp. 98-105.

FRANCO-MARISCAL, A.J., 2008a. Aprendiendo química a través de autodefinidos multinivel. *Educación Química*, vol. 19, no. 1, pp. 56-65.

FRANCO-MARISCAL, A.J., 2008b. Elemental chem lab. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 10, pp. 1370-1371.

FRANCO-MARISCAL, A.J., 2012. Los elementos químicos y la enseñanza bilingüe de las ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 71, pp. 99-103.

FRANCO-MARISCAL, A.J., 2014. Diseño y evaluación del juego didáctico «Química con el mundial de Brasil 2014». *Educación Química*, vol. 25, no. E1, pp. 276-283.

FRANCO-MARISCAL, A.J. y CANO-IGLESIAS, M.J., 2008. México elemental. *Educación Química*, vol. 19, no. 2, pp. 172-173.

FRANCO-MARISCAL, A.J. y CANO-IGLESIAS, M.J., 2009. Soletrando o Br-As-I-L com símbolos químicos. *Química nova na escola*, vol. 31, no. 1, pp. 31-33.

FRANCO-MARISCAL, A.J. y CANO-IGLESIAS, M.J., 2011. Elemental B-O-Ne-S. *Journal of Chemical Education*, vol. 88, no. 11, pp. 1551-1552.

FRANCO-MARISCAL, A.J. y FRANCO, R., 2006. Para realizar una investigación basta con un botón. *Investigación en la escuela*, no. 60, pp. 93-104.

- FRANCO-MARISCAL, A.J. y OLIVA-MARTÍNEZ, J.M., 2013a. Diseño de una unidad didáctica sobre los elementos químicos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 74, pp. 57-67.
- FRANCO-MARISCAL, A.J. y OLIVA-MARTÍNEZ, J.M., 2013b. Evolución en el alumnado de la idea de elemento químico a lo largo del bachillerato. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, vol. 10, no. 3, pp. 353-376.
- FRANCO-MARISCAL, A.J. y OLIVA-MARTÍNEZ, J.M., 2013c. ¿Qué enseñar en secundaria sobre la tabla periódica? *Educació Química*, no. 15, pp. 43-52.
- FRANCO-MARISCAL, A.J., OLIVA-MARTÍNEZ, J.M. y ALMORAIMA, M.L., 2015a. Students' perceptions about the use of educational games as a tool for teaching the periodic table of elements at the high school level. *Journal of Chemical Education*, vol. 92, no. 2, pp. 278-285.
- FRANCO-MARISCAL, A.J., OLIVA-MARTÍNEZ, J.M. y ALMORAIMA, M.L., 2015b. Understanding the idea of chemical elements and their periodic classification in spanish students aged 16-18 years. *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. Online.
- FRANCO-MARISCAL, A.J., OLIVA-MARTÍNEZ, J.M. y BERNAL-MÁRQUEZ, S., 2009. Dificultades de aprendizaje en torno a la periodicidad de los elementos químicos: la visión de profesores e investigadores en educación química. *Enseñanza de las ciencias. Número extra VIII congreso*. Barcelona: s.n., pp. 54-57.
- FRANCO-MARISCAL, A.J., OLIVA-MARTÍNEZ, J.M. y BERNAL-MÁRQUEZ, S., 2012a. An educational card game for learning families of chemical elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 89, no. 8, pp. 1044-1046.
- FRANCO-MARISCAL, A.J., OLIVA-MARTÍNEZ, J.M. y BERNAL-MÁRQUEZ, S., 2012b. Una revisión bibliográfica sobre el papel de los juegos didácticos en el estudio de los elementos químicos. Primera parte: los juegos al servicio del conocimiento de la tabla periódica. *Educación Química*, vol. 23, no. 3, pp. 338-345.
- FRANCO-MARISCAL, A.J., OLIVA-MARTÍNEZ, J.M. y BERNAL-MÁRQUEZ, S., 2012c. Una revisión bibliográfica sobre el papel de los juegos didácticos en el estudio de los elementos químicos. Segunda parte: los juegos al servicio de la comprensión y uso de la tabla periódica. *Educación Química*, vol. 23, no. 4, pp. 474-481.
- FRANCO-MARISCAL, A.J., TOMÁS, A., JARA-CANO, V. y ORTIZ-TUDELA, F.J., 2010. El bingo como recurso didáctico en el aula de secundaria. *Educación Química*, vol. 21, no. 1, pp. 78-84.
- GALAGOVSKY, L. y AGUSTÍN ADÚRIZ-BRAVO, 2001. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 19, no. 2, pp. 232-242
- GARAY, F., GALLEGO, R. y PÉREZ, R., 2006. Un análisis histórico-epistemológico de los trabajos de Mendeleiev sobre la periodicidad química. *Tecné episteme y didaxis*, no. 20, pp. 110-123.

- GARCÍA-CARMONA, A., 2006. La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. *Educación Química*, vol. 17, no. 4, pp. 414-423.
- GARRITZ, A., 2007. El papel de una madre. Mendeleiev, muerto hace cien años. *Educación química*, vol. 18, no. 3, pp. 178-180.
- GARRITZ, A., 2009. La enseñanza experimental y la clasificación de los elementos en los libros de texto franceses y alemanes de la primera mitad del siglo XIX. *Educación Química*, vol. 20, no. 3, pp. 294-300.
- GASQUE, L., 2000a. Flúor. *Educación Química*, vol. 11, no. 4, pp. 418-419.
- GASQUE, L., 2000b. Helio (del griego helios, sol). *Educación Química*, vol. 11, no. 3, pp. 331-332.
- GASQUE, L., 2001a. Berilio. *Educación Química*, vol. 12, no. 1, pp. 57.
- GASQUE, L., 2001b. Boro. *Educación Química*, vol. 12, no. 4, pp. 248-250.
- GASQUE, L., 2003a. Aluminio. *Educación Química*, vol. 14, no. 1, pp. 52-53.
- GASQUE, L., 2003b. Hidrógeno. *Educación Química*, vol. 14, no. 4, pp. 249-251.
- GASQUE, L., 2006a. El descubrimiento de los gases nobles. *Educación Química*, vol. 17, no. 1, pp. 97-99.
- GASQUE, L., 2006b. Neón, argón, kriptón, xenón y radón. *Educación Química*, vol. 17, no. 1, pp. 64-66.
- GASQUE, L., 2013a. Arsénico, el elemento inclasificable. *Educación Química*, vol. 24, no. E2, pp. 495-500.
- GASQUE, L., 2013b. Flúor elemental. Nunca digas nunca. *Educación Química*, vol. 24, no. 3, pp. 268-269.
- GHIBAUDI, E., REGIS, A. y ROLETTO, E., 2013. What do chemists mean when they talk about elements? *Journal of Chemical Education*, vol. 90, pp. 1626-1631.
- GIUNTA, C.J., 2001. Using history to teach scientific method: the role or errors. *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 5, pp. 623-627.
- GONZÁLEZ, P., 2013a. Per què un monogràfic sobre la taula periòdica? *Educació Química*, no. 15, pp. 3.
- GONZÁLEZ, P., 2013b. Què diu i què no diu la taula periòdica. *Educació Química*, no. 15, pp. 19-24.
- GRAU, M.D., 2008. Quim & Mica. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.taulaperiodica.upc.edu/index.html>.
- GRAU, M.D., 2009. On és la química? Com podem aprendre a descobrir-la. *Educació Química*, no. 4, pp. 41-45.

- GROAT, R.K. y JACOBSEN, E.K., 2009. Become a fan: support your favorite element on facebook. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1168-1169.
- GUTIÉRREZ, M.S., 2003. La clasificación periódica de los elementos químicos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 38, pp. 54-61.
- HAWKES, S.J., 2001. Semimetallicity? *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 12, pp. 1686-1687.
- HAWTHORNE, F., 2009. Boron, my favorite element. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 131.
- HELSEY, T.L., 2003. Elemental zoo. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 4, pp. 409-410.
- HENAO, B.L., MOREIRA, M.A. y SOUSA, C.M.S.G., 2005. El texto escolar de química como mediador en la enculturación y sus posibles contribuciones a la ecología representacional: Un estudio preliminar. *Enseñanza de las ciencias*, vol. Número extra.
- HENNIGAN, J.N. y GRUBBS, W.T., 2013. The periodic pyramid. *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 8, pp. 1003-1008.
- HERNÁNDEZ, C., 2011. *Identificación de los indicios de calidad en la transición de los libros de texto de papel hacia los libros digitales: El caso de las ondas*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- HERNÁNDEZ, G., HERNÁNDEZ, D., GARCÍA, T., MIRANDA, R. y ADRIANA PÉREZ, 2006. jugando con símbolos. *Educación Química*, vol. 17, no. 2, pp. 187-188.
- HERNÁNDEZ, G., HERNÁNDEZ, D., GARCÍA, T., MIRANDA, R. y PÉREZ, A., 2006. Respuesta a «jugando con símbolos». *Educación Química*, vol. 17, no. 3, pp. 404-405.
- HOFFMAN, D.C., 2009. The periodic table. Key to past «elemental» discoveries-A new role in the future? *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1122-1128.
- HOLDEN, N.E. y COPLEN, T.B., 2013. ConfChem conference oh a virtual colloquium to sustain and celebrate IYC 2011 initiatives in global chemical education: The IUPAC periodic table of isotopos for the educational community. *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 11, pp. 1550-1551.
- IBRAHIM, S.A., 2005. Predicting the atomic weights of the trans-lawrencium elements: a novel application of Dobereiner's triads. *Journal of Chemical Education*, vol. 82, no. 11, pp. 1658-1659.
- IUPAC, 2006. Compendium of Chemical Terminology - the Gold Book. [en línea]. [Consulta: 5 diciembre 2015]. Disponible en: <http://goldbook.iupac.org/index.html>.
- IUPAC, 2013. Periodic Table of the Elements. [en línea]. [Consulta: 8 octubre 2015]. Disponible en: http://www.iupac.org/fileadmin/user_upload/news/IUPAC_Periodic_Table-1May13.pdf.
- IZCI, K., BARROW, L.H. y THORNHILL, E., 2013. Online periodic table: a cautionary note. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 22, no. 4, pp. 402-417.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2000. Reflexions a l'entorn de la nova cultura docent. *Educar*, vol. 27, pp. 181-204.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2002. La función de las inscripciones en los textos de química. La sorprendente evolución de la tabla periódica. *VII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*. Logroño

IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2005a. Estructuras retóricas en los libros de ciencias. *Tarbiya. Revista de investigación e innovación educativa*, no. 36, pp. 11-34.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2005b. Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 23, no. 1, pp. 111-122.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2013. School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, no. 22, pp. 1633-1653.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2014. Pasado y presente de la química: su función didáctica. En: C. MERINO-RUBILAR, M. ARELLANO y A. ADÚRIZ-BRAVO, *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso

IZQUIERDO-AYMERICH, M. y ADÚRIZ-BRAVO, A., 2009. Physical construction of the chemical atom: Is it convenient to go all the way back? *Science & Education*, vol. 18, no. 3-4, pp. 443-455.

IZQUIERDO-AYMERICH, M. y ALIBERAS, J., 2004. *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències: per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, Servei de publicacions.

IZQUIERDO-AYMERICH, M. y GRUPO DE PROFESORES LIEC, 2005. La función retórica de las narraciones en los libros de texto. *Enseñanza de las ciencias*, vol. VII congreso, no. Número extra, pp. 1-5.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., MARIONA ESPINET, MARÍA PILAR GARCÍA, ROSA MARÍA PUJOL y NEUS SANMARTÍ, 1999. Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las ciencias*, no. Número extra, pp. 79-91.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., MÀRQUEZ, C. y GOUVEA, G., 2008. A Proposal for Textbooks Analysis: Rhetorical Structures. *Science Education International*, vol. 19, no. 2, pp. 209-218.

IZQUIERDO-AYMERICH, M. y SANMARTÍ, N., 2000. Enseñar a leer y escribir textos de Ciencias de la Naturaleza. En: J. JORBA, I. GÓMEZ y À. PRAT, *Hablar y escribir para aprender*. Madrid: Editorial Síntesis, pp. 181-200.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., SANMARTÍ, N. y ESTAÑA, J.L., 2007. Actividad Química Escolar: modelización metacognitiva del cambio químico. En: M. IZQUIERDO-AYMERICH, A. CAAMAÑO y M. QUINTANILLA, *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Bellaterra: Servei de Publicacions-UAB, pp. 2003.

JACOBSEN, E.K., 2009. JCE Resources for Chemistry and the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1154-1161.

- JACOBSEN, E.K. y GROAT, R.K., 2010. Support your favorite element on facebook: a post-national chemistry week update. *Journal of Chemical Education*, vol. 87, no. 3, pp. 237-238.
- JACOBSEN, E.K. y SLOCUM, L.E., 2009. It's elemental. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1115.
- JENSEN, W.B., 1982. The positions of Lanthanum (Actinium) and Lutetium (Lawrencium) in the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 59, no. 8, pp. 634-636.
- JENSEN, W.B., 1996. Electronegativity from Avogadro to Pauling. Part I: Origins of the Electronegativity Concept. *Journal of Chemical Education*, vol. 73, no. 1, pp. 11-20.
- JENSEN, W.B., 1998. Logic, History, and the Chemistry Textbooks II. Can We Unmuddle the Chemistry Textbook? *Journal of Chemical Education*, vol. 75, no. 7, pp. 817-828.
- JENSEN, W.B., 2003a. Electronegativity from Avogadro to Pauling: II. Late Nineteenth- and Early Twentieth-Century Developments. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 3, pp. 279-287.
- JENSEN, W.B., 2003b. The Place of Zinc, Cadmium, and Mercury in the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 8, pp. 952-961.
- JENSEN, W.B., 2008a. Is Mercury Now a Transition Element? *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 9, pp. 1182-1183.
- JENSEN, W.B., 2008b. The periodic table: facts or committees? *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 11, pp. 1491-1492.
- JENSEN, W.B., 2009. Misapplying the Periodic Law. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1186.
- JENSEN, W.B., 2012. The Quantification of Electronegativity: Some Precursors. *Journal of Chemical Education*, vol. 89, no. 1, pp. 94-96.
- JOAG, S.D., 2014. An effective method of introducing the periodic table as a crossword puzzle at the high school level. *Journal of Chemical Education*, vol. 91, no. 6, pp. 864-867.
- JOSÉ ANTONIO CHAMIZO y MARINA YOLANDA GUTIÉRREZ, 2004. Conceptos fundamentales en química 1. Valencia. *Educación química*, vol. 15, no. 3, pp. 359-365.
- JOU, D., 2013. L'origen còsmic de la taula periòdica. *Educació Química*, no. 15, pp. 25-33.
- KAROL, P.J., 2002. The Mendeleev-Seaborg Periodic Table: Through Z=1138 and beyond. *Journal of Chemical Education*, vol. 79, no. 2002, pp. 60-63.
- KAVAK, N., 2012. ChemPoker. *Journal of Chemical Education*, vol. 89, no. 4, pp. 522-523.
- KELKAR, V.D., 2002. Letter Matrix puzzle on the symbols of elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 79, no. 4, pp. 456-457.
- KELKAR, V.D., 2003. Find the symbols of elements using a letter matrix puzzle. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 4, pp. 411-412.

KUNTSZLEMAN, T.S., ROHRER, K.N., BALDWIN, B.W., KINGSLEY, J., SCHAEERER, C.L., SAYERS, D.K. y WEST, V.B., 2013. Constructing an Annotated Periodic Table Created with Interlocking Building Blocks: A National Chemistry Week Outreach Activity for All Ages. *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 10, pp. 1346-1348.

LABARCA, M. y ZAMBON, A., 2013. Una reconceptualización del concepto de elemento como base para una nueva representación del sistema periódico. *Educación Química*, vol. 24, no. 1, pp. 63-70.

LACERDA, C. de C., CAMPOS, A.F. y MARCELINO-JR, C. de A.C., 2012. Abordagem dos conceitos mistura, substância simples, substância composta e elemento químico numa perspectiva de ensino por situação-problema. *Química nova na escola*, vol. 34, no. 2, pp. 75-82.

LAING, M., 1989. the Periodic Table - A New Arrangement. *Journal of Chemical Education*, vol. 66, no. 9, pp. 746.

LAING, M., 2001. Periodic patterns. *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 7, pp. 877.

LAING, M., 2005. A revised periodic table: with the lanthanides repositioned. *Foundations of Chemistry*, vol. 7, no. 3, pp. 203-233.

LAING, M., 2008. The different periodic tables of Dmitrii Mendeleev. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 1, pp. 63-67.

LAING, M., 2009a. Gadolinium: Central Metal of the Lanthanoids. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 2, pp. 188-189.

LAING, M., 2009b. More about the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1189.

LAING, M., 2009c. The Role of Triads. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1183-1184.

LANE, T.H., 2009. My favorite element: Silicon. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1132.

LARSON, K.G., LONG, G.R. y BRIGGS, M.W., 2012. Periodic Properties and Inquiry: Student Mental Models Observed during a Periodic Table Puzzle Activity. *Journal of Chemical Education*, vol. 89, no. 12, pp. 1491-1498.

LAVELLE, L., 2008a. Lanthanum (La) and actinium (Ac) should remain in the d-block. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 11, pp. 1482-1483.

LAVELLE, L., 2008b. Response to «The flyleaf periodic table». *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 11, pp. 1491.

LAVELLE, L., 2009. Response to Misapplying the Periodic Law. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1187.

LEACH, M.R., 2013. Concerning electronegativity as a basic elemental property and why the periodic table is usually represented in its medium form. *Foundations of Chemistry*, vol. 15, no. 1, pp. 13-29.

- LEACH, M.R., 2015. The INTERNET Database of Periodic Tables. [en línea]. [Consulta: 6 octubre 2015]. Disponible en: http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php.
- LEMES, M.R. y DAL PINO, A., 2011. Periodic Table of the Elements in the Perspective of Artificial Neural Networks. *Journal of Chemical Education*, vol. 88, no. 11, pp. 1511-1514.
- LEMKE, J., 1989. *Using Language in the Classroom (Language Education)*. Oxford: University Press.
- LEMKE, J., 1997. *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. 1a. Barcelona: Paidós. Temas de educación.
- LEVI, P., 1984. *The Periodic Table*. New York: Schocken Books.
- LINARES, R., 2004. *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- LINARES, R., 2005. Elemento, átomo y sustancia simple, diferentes lecturas de la tabla periódica. *Enseñanza de las ciencias. Número extra VII congreso*. Granada
- LINARES, R. y IZQUIERDO-AYMERICH, M., 2007. La tabla periódica en el Journal of Chemical Education a través del siglo XX. *Tecné episteme y didaxis*, no. 21, pp. 7-23.
- LINCOLN, Y. y GUBA, E., 1985. *Naturalistic Inquiry*. London: Sage.
- LOCKE, D., 1997. *La ciencia como escritura*. 1a. Madrid: Cátedra.
- LÓPEZ, V., DULCE, M. y FURIÓ-MAS, C., 2005. La superposición de modelos históricos en la enseñanza de la química: presentación del concepto de elemento químico. *Enseñanza de las ciencias. Número extra VII congreso*. Granada: s.n., pp. 1-3.
- MABROUK, S.T., 2003. The Periodic Table as a Mnemonic Device for Writing Electronic Configurations. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 8, pp. 894-898.
- MAHOOTIAN, F., 2013. Paneth's epistemology of chemical elements in light of Kant's Opus postumum. *Foundations of Chemistry*, vol. 15, no. 2, pp. 171-184.
- MANS, C., 2009. Element Al. *Educació Química*, no. 3, pp. 56-60.
- MANS, C., 2013. Taules periòdiques menys convencionals. *Educació Química*, no. 15, pp. 34-42.
- MARCHAL, A., 2008. Artistic periodic table in honor a Mendeleev. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 11, pp. 1489.
- MAREK, L., 2009. Illinium: An Impeached Element. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1138.
- MARINHO, M. da C., 2002. O Conceito de Elemento da Antigüidade à Modernidade. *Química nova na escola*, no. 16, pp. 21-25.

MÁRQUEZ, C., 2002. *La comunicació multimodal en l'ensenyament del cicle de l'aigua*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

MÁRQUEZ, C., 2005. Aprender ciencias a través del lenguaje. *Educación*, no. Abril-Junio, pp. 27-38.

MARSHAL, J.L., 2000. A Living Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 8, pp. 979-983.

MARTÍ-CENTELLES, V. y RUBIO-MAGNIETO, J., 2014. ChemMend: A Card Game To Introduce and Explore the Periodic Table while Engaging Stuent's Interest. *Journal of Chemical Education*, vol. 91, no. 6, pp. 868-871.

MARZÀBAL, A., 2010. *Anàlisi del llibre de text de química como a discurs didàctic multimodal*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

MAZURS, E.G., 1974. *Graphic Representations of the Periodic System During One Hundred Years*. 2a. Tuscaloosa, USA: University of Alabama.

MEDNIKOV, E.G. y DAHL, L.F., 2009. Palladium: It Forms Unique Nanosized Carbonyl Clusters. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1135.

MENDELÉIEV, D.I., 2008. *La regularitat periòdica dels elements químics*. Barcelona: Societat Catalana de Química.

MÉNDEZ-ROJAS, M.Á. y ENCISO, A.E., 2011. El grafeno: entre serendipia, cinta adhesiva y emigrantes. *Educación Química*, vol. 22, no. 1, pp. 72-74.

MENSCHUTKIN, B.N., 1937. Historical development of the conception of chemical elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 14, no. 2, pp. 59-61.

MERINO, G. y FERNÁNDEZ-HERRERA, M.A., 2013. Nitrógeno tóxico: ¿realidad o ficción? *Educación Química*, vol. 24, no. E2, pp. 466.

MERINO-RUBILAR, C., 2009. *Aportes a la caracterización del «Modelo Cambio Químico Escolar»*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

MOORE, J.W., 2009. Seeing is believing: Learning from Periodic Table Live! videos. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1147-1148.

MORENO, L.F., HINCAPIÉ, G. y ALZATE, M.V., 2014. Cheminoes: a didactic game to learn chemical relationships between valence, atomic number, and symbol. *Journal of Chemical Education*, vol. 91, no. 6, pp. 872-875.

NELSON, P.G., 2003. Basic chemical concepts. *Chemistry education Research and practice*, vol. 4, no. 1, pp. 19-24.

NELSON, P.G., 2006. Definition of «element». *Chemistry Education: Research and practice*, vol. 7, no. 4, pp. 288-289.

NIAZ, M., 2013. Mendeleev and the periodic table: A response to Scerri. *Educación Química*, vol. 24, no. 3, pp. 285-287.

- NIAZ, M. y MAZA, A., 2011. *Nature of Science in General Chemistry Textbooks*. London: Springer. SpringerBriefs in Education.
- NIAZ, M., RODRÍGUEZ, M.A. y BRITO, A., 2004. An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of the periodic table. *Studies in History and Philosophy of science*, vol. 35, no. 2, pp. 271-282.
- OBER, J. y KREBS, T., 2009. Chemical Elements in Fantasy and Science Fiction. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1141.
- OCCELLI, M. y VALEIRAS, N., 2013. Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 31, no. 2, pp. 133-152.
- OLIVA-MARTÍNEZ, J.M., 2010. Comparando la tabla periódica con un calendario: posibles aportaciones de los estudiantes al diálogo de construcción de analogías en el aula. *Educació Química*, no. 6, pp. 13-22.
- OLIVE, G. y RIFFONT, D., 2008. French Mnemonics for the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 11, pp. 1489.
- OLIVEIRA, A.C., DINIZ, C.S. y MENDES, J.F., 2013. Química no cotidiano: A química dos alimentos e a tabela periódica. *Enseñanza de las ciencias. Número extra IX congreso*. Girona: s.n., pp. 2584-2588.
- ORNA, M.V., 2009. My Favorite Element. Francium: Uranium's Daughter, Perey's Discovery. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 12, pp. 1364.
- PALMER, J. y BROSNICK, L., 2005. Designing element t-shirts: Spelling with the periodic table. *Journal of Chemical Education*, vol. 82, no. 4, pp. 517.
- PANETH, F.A., 2003. The epistemological status of the chemical concept of element. *Foundations of Chemistry*, vol. 5, no. 2, pp. 113-145.
- PEÑA, M., 2007. Palabras y frases creadas con los símbolos de los elementos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, vol. 4, no. 3, pp. 557-559.
- PERALES, F.J. y VILCHEZ, J.M., 2012. Libros de texto: ni contigo ni sin ti tienen mis males remedio. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 70, pp. 75-82.
- PINTO, G., 2007. A Postage Stamp about the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 84, no. 12, pp. 1919.
- POZAS, A., MARTÍN, R., RODRÍGUEZ, Á. y RUIZ, A., 2009. *Química 2*. Quinta edición. Madrid: Mc Graw Hill.
- QUINSEY, C.S., 2003. Oxygen - Abundant and essential. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 10, pp. 1124-1128.
- RAMETTE, R.W., 2009. I(n)to My Element. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1136.
- RAVIOLO, A., 2009. Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria. *Educación Química*, vol. 19, no. 1, pp. 55-60.

RAYNER-CANHAM, G., 2000. Periodic Patterns. *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 8, pp. 1053-1056.

RICH, R.L., 2005. Are some elements more equal than others? *Journal of Chemical Education*, vol. 82, no. 12, pp. 1761-1763.

RICH, R.L. y LAING, M., 2011. Can the periodic table be improved? *Educación Química*, vol. 22, no. 2, pp. 162-165.

RODGERS, G.E., 2014. A visually Attractive «Interconnected Network of Ideas» for Organizing the Teaching and Learning of Descriptive Inorganic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, vol. 91, no. 2, pp. 216-224.

ROSENFELD, L., 2000. Discovery and Early Uses of Iodine. *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 8, pp. 984-987.

RUIZ, A., RODRÍGUEZ, Á., MARTÍN, R. y POZAS, A., 1996. *Química 2*. Madrid: Mc Graw Hill.

SACKS, O., 2009. *El tío tungsteno. Recuerdos de un químico precoz*. 2a. Barcelona, España: Anagrama. Colección Compactos.

SAECKER, M., 2009. Professor Gallium. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1134.

SAECKER, M.E., 2009. Periodic table presentations and inspirations. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1151-1153.

SALAS-BANUET, G., RAMÍREZ-VIEYRA, J. y NOGUEZ-AMAYA, M.E., 2011a. La incomprendida electronegatividad (trilogía) II. Evolución en la cuantificación de la electronegatividad. *Educación Química*, vol. 22, no. 2, pp. 155-161.

SALAS-BANUET, G., RAMÍREZ-VIEYRA, J. y NOGUEZ-AMAYA, M.E., 2011b. La incomprendida electronegatividad (trilogía) III. Comprendiendo a la electronegatividad. *Educación Química*, vol. 22, no. 3, pp. 224-231.

SALAS-BANUET, G., RAMÍREZ-VIEYRA, J. y NOGUEZ-AMAYA, M.E., 2011c. La incomprendida electronegatividad (trilogía). Parte I. El pensamiento en le electronegatividad cualitativa. *Educación Química*, vol. 22, no. 1, pp. 38-44.

SANTOS, S. y INFANTE, M., 2009. Narrativas como recurso para la enseñanza de las ciencias: un caso con la historia de la tabla periódica. *Enseñanza de las ciencias. Número extra VIII congreso*. Barcelona

SARDÀ, Anna y SANMARTÍ, N., 2000. Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 18, no. 3, pp. 405-422.

SATURNINO, J.C.S.F., LUDUVICO, I. y DOS SANTOS, L.J., 2013. Pôquer dos Elementos dos Blocos s e p. *Química nova na escola*, vol. 35, no. 3, pp. 174-181.

SCERRI, E., 2000a. Have orbitals really been observed? *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 11, pp. 1492-1494.

- SCERRI, E., 2000b. Philosophy of chemistry - A New Interdisciplinary Field? *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 4, pp. 522-525.
- SCERRI, E., 2008a. El pasado y el futuro de la tabla periódica. Este fiel símbolo del campo de la química siempre encara el escrutinio y el debate. *Educación Química*, vol. 19, no. 3, pp. 234-241.
- SCERRI, E., 2008b. The Role of Triads in the Evolution of the Periodic Table. Past and Present. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 4, pp. 585-589.
- SCERRI, E., 2009a. Response to The Role of Triads. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1185.
- SCERRI, E., 2009b. Which elements belong in group 3? *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1188.
- SCERRI, E., 2011. Who is a theorist? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, vol. 8, no. 3, pp. 231-239.
- SCERRI, E., 2013. Some comments on the views of Niaz, Rodriguez and Brito on Mendeleev's periodic system. *Educación Química*, vol. 24, no. 3, pp. 278-284. E169
- SCERRI, E.R., 2007. *The periodic table. Its story and its significance*. 1. New York: Oxford: University press.
- SCERRI, E.R., 2013. *La tabla periódica: Una breve introducción*. 1. Madrid: Alianza Editorial.
- SCHMIDT, H.-J., 2000. Should chemistry lessons be more intellectually challenging? *Chemistry Education: Research and practice*, vol. 1, no. 1, pp. 17-26.
- SCHMIDT, H.-J., BAUMGÄRTNER, T. y EYBE, H., 2003. Changing ideas about the periodic table of elements and students' alternative concepts of isotopes and allotropes. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 40, no. 3, pp. 257-277.
- SCHULTZ, E., 2005. Fully Exploring the Potential of the Periodic Table through Pattern Recognition. *Journal of Chemical Education*, vol. 82, no. 11, pp. 1649-1657.
- SCHWARZ, W.H.E., 2010. The full story of the Electron Configurations of the Transition Elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 87, no. 4, pp. 444-448.
- SCHWARZ, W.H.E. y RICH, R.L., 2010. Theoretical basis and correct explanation of the periodic system: review and update. *Journal of Chemical Education*, vol. 87, no. 4, pp. 435-443.
- SEGURA, M., VALLS, J.M. y MARTÍ, J.-L., 2010. «Els elements en capsas»: una taula periòdica real. *Educació Química*, no. 7, pp. 22-30.
- SELCO, J., BRUNO, M. y CHAN, S., 2013. Discovering Periodicity: Hands-On, Minds-On Organization of the Periodic Table by Visualizing the Unseen. *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 8, pp. 995-1002.
- SEVCIK, R.S., HICKS, O., SCHULTZ, L.D. y ALEXANDER, S.V., 2008. Elements-A Card Game of Chemical Names and Symbols. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 4, pp. 514-515.

SEVCIK, R.S., MCGINTY, R.L., SCHULTZ, L.D. y ALEXANDER, S.V., 2008. Periodic Table Target: A Game That Introduces the Biological Significance of Chemical Element Periodicity. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 4, pp. 516-517.

SHARLOW, M.F., 2006. Chemical elements and the problem of universals. *Foundations of Chemistry*, vol. 8, pp. 225-242.

SILVA, A., BARROSO, M.F., FREITAS, O., TEIXEIRA, S., MORAIS, S. y DELERUE-MATOS, C., 2006. The Periodic Table: Contest and Exhibition. *Journal of Chemical Education*, vol. 83, no. 4, pp. 557-560.

SLOCUM, L.E., 2009. A research paper on the elements, in 3-D. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1142-1143.

SLOCUM, L.E. y MOORE, J.W., 2009. Periodic Table Live! Excites Students. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1167.

SOSA, P., 2004. Oro. *Educación Química*, vol. 15, no. 2, pp. 161-165.

SPENCE, J.C.H., O'KEEFFE, M. y ZUO, J.M., 2001. Have Orbitals Really Been Observed? (Letter). *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 7, pp. 877.

STAINS, M. y TALANQUER, V., 2007. A2: Element or Compound? *Journal of Chemical Education*, vol. 84, no. 5, pp. 880-883.

STEWART, P.J., 2008. The flyleaf table: An alternative. *Journal of Chemical Education*, vol. 85, no. 11, pp. 1490.

STEWART, P.J., 2010. Charles Janet: unrecognized genius of the periodic system. *Foundations of Chemistry*, vol. 12, no. 1, pp. 5-15.

STOJANOVSKA, M., PETRUSEVSKI, V.M. y SOPTRAJANOV, B., 2012. The concept of sublimation - iodine as an example. *Educación Química*, vol. 23, no. E1, pp. 171-174.

SUTTON, C., 1992. *Words, science and learning (developing science & technology education)*. 1a. Buckingham: Open University Press.

SUTTON, C., 1997. Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 12, pp. 8-32.

SUTTON, C., 2003. Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 21, no. 1, pp. 21-25.

TABER, K., 2003. Understanding ionisation energy: physical, chemical and alternative conceptions. *Chemistry Education: Research and practice*, vol. 4, no. 2, pp. 149-169.

TABER, K.S. y TAN, K.C.D., 2007. Exploring learners' conceptual resources: Singapore a level students' explanations in the topic of ionisation energy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 5, no. 3, pp. 375-392.

TALANQUER, V., 2009. Química agazapada. En: J.A. CHAMIZO, *Historia y filosofía de la química*. México: Facultad de Química UNAM Siglo XXI editores

- TALANQUER, V. y IRAZOQUE, G., 2008. *Ciencias 3 (Química)*. Primera edición. México, DF: Castillo.
- TAN, K.C.D. y TABER, K.S., 2009. Ionization Energy: Implications of Preservice Teachers' Conceptions. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 5, pp. 623-629.
- TAN, K.C.D., TABER, K.S., GOH, N.K. y CHIA, L.S., 2005. The ionisation energy diagnostic instrument: a two-tier multiple-choice instrument to determine high school students' understanding of ionisation energy. *Chemistry Education: Research and practice*, vol. 6, no. 4, pp. 180-197.
- TAN, K.C.D., TABER, K.S., XIUFENG, L., COLL, R.K., LORENZO, M., LI, J., GOH, N.K. y CHIA, L.S., 2008. Students' Conceptions of Ionisation Energy: A cross-cultural Study. *International Journal of Science Education*, vol. 30, no. 2, pp. 263-283.
- TÁRRAGA, P. y BECHTOLD, H., 2011. ¿Cómo se escribe hidrógeno en Alemán? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 67, pp. 109-112.
- THOMAS, N.C., 2009a. Connecting element names with the names of U. S. towns. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 2, pp. 181-184.
- THOMAS, N.C., 2009b. Elemental chemical puzzlers. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1208-1209.
- THOMAS, N.C., 2009c. Updated resources for assembling an element collection. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1193-1194.
- THOMPSON, K., 2010. Plotting the Discovery of the Elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 87, no. 3, pp. 270.
- TOBIN, E., 2013. Chemical Laws, Idealization and Approximation. *Science & Education*, vol. 22, no. 7, pp. 1581-1592.
- TOMÁS, A., 2012. Ningún pollo asado sabe bien. Frases para recordar... la tabla periódica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no. 72, pp. 99-104.
- TOULMIN, S., 1972. *La comprensión humana*. Madrid: Alianza Editorial.
- VERNON, R.E., 2013. Which Elements are Metalloids? *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 12, pp. 1703-1707.
- VIHALEMM, R., 2003. Are laws of nature and scientific theories peculiar in chemistry? scrutinizing Mendeleev's discovery. *Foundations of Chemistry*, vol. 5, no. 1, pp. 7-22.
- VILAR, R., 2002a. Cobre. *Educación Química*, vol. 13, no. 2, pp. 142-144.
- VILAR, R., 2002b. Zinc. *Educación Química*, vol. 13, no. 4, pp. 275-276.
- VILAR, R., 2003. Vanadio. *Educación Química*, vol. 14, no. 2, pp. 117-119.
- VIOSSAT, V., 2000. Periodic table software for high school. *Chemistry Education: Research and practice*, vol. 1, no. 3, pp. 401-404.

WALDRIP, B. y PRAIN, V., 2011. Developing an understanding of ions in junior secondary school chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, no. 10, pp. 1191-1213.

WALLINGTON, T.J., ANDERSON, J.E., SIEGEL, D.J., TAMOR, M.A., MUELLER, S.A., WINKLER, S.L. y NIELSEN, O.J., 2013. Sustainable Mobility, Future Fuels, and the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, vol. 90, no. 4, pp. 440-445.

WEISBERG, M., 2007. Who is a Modeler? *British Journal for Philosophy of Science*, vol. 58, pp. 207-233.

WELSH, M.J., 2007. Chemistry of Art and Color Sudoku Puzzles. *Journal of Chemical Education*, vol. 84, no. 4, pp. 610-611.

WIEDER, M.J., 2001. It's Elementary. *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 4, pp. 468-469.

WIEDIGER, S.D., 2009. Implementing a Computer Program That Captures Students' Work on Customizable, Periodic-System Data Assignments. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1212-1215.

WILLIAMS, K.R., 2003. The discovery of oxygen and other Priestley matters. *Journal of Chemical Education*, vol. 80, no. 10, pp. 1129-1131.

WILLIAMS, K.R., 2009. Discover-E of the E-elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1129-1130.

WINTER, M.J., 2011. Diffusion Cartograms for the Display of Periodic Table Data. *Journal of Chemical Education*, vol. 88, no. 11, pp. 1507-1510.

WISNIAK, J., 2007. The composition of air: Discovery of Argon. *Educación Química*, vol. 18, no. 1, pp. 69-84.

WOELK, K., 2009. Matching Element Symbols with State Abbreviations. A Fun Activity for Browsing the Periodic Table of Chemical Elements. *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1205-1207.

WRIGHT, S.W., 2009. Iodine! *Journal of Chemical Education*, vol. 86, no. 10, pp. 1137.

YIN, M. y OCHS, R.S., 2001. The Mole, the Periodic Table, and Quantum Numbers: An Introductory Trio. *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 10, pp. 1345-1347.

ZHEKAI, D., 2010. A New Method for Studying the Periodic System Based on a Kohonen Neural Network. *Journal of Chemical Education*, vol. 87, no. 4, pp. 433-434.

Anexo

El anexo está compuesto por un total de 4 documentos, como se muestra a continuación:

Anexo 1: Lista de artículos analizados

Anexo 2: Tablas de datos (plantilla de análisis y encuestas)

Anexo 3: Descripción y análisis de los libros de texto

Anexo 4: Redes sistémicas para el para el perfil de los profesores

Tal como hemos mencionado en la introducción, el anexo está en un CD adjunto y contiene cuatro documentos con la siguiente información:

Anexo 1: Lista de artículos analizados

Presentamos la lista de los artículos que hemos clasificado, reseñado y analizado, por orden alfabético y orden de etiquetado.

Anexo 2: Tablas de datos (plantilla de análisis y encuestas)

Presentamos las tablas en las cuales hemos vaciado los datos de las plantillas de análisis de los libros y de las encuestas.

Anexo 3: Descripción y análisis de los libros de texto

Presentamos una descripción del capítulo analizado en cada uno de los libros y la justificación de las valoraciones que colocamos en los ítems de cada una de las preguntas.

Anexo 4: Redes sistémicas para el perfil de los profesores

Presentamos, para cada uno de los profesores que respondieron la encuesta, las redes sistémicas correspondientes a las preguntas 4, 5, 6 y 7 de la encuesta, con las valoraciones correspondientes.

