



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**ANÁLISIS DE LAS HABILIDADES DE INDAGACIÓN EN
LOS ALUMNOS DE QUÍMICA GENERAL I EN TORNO AL
TEMA DE “PROPIEDADES PERIÓDICAS”.**

T E S I S

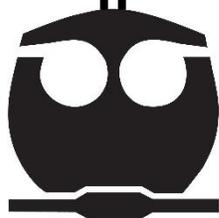
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A

CARLOS BELTRÁN REVILLA

ASESORA DEL TRABAJO

KIRA PADILLA MARTÍNEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Profesora: **KIRA PADILLA MARTÍNEZ**

VOCAL: Profesor: **CARLOS CATANA RAMÍREZ**

SECRETARIO: Profesor: **JOSÉ MANUEL MONTAÑO HILARIO**

PRIMER SUPLENTE: Profesora: **ELIZABETH NIETO CALLEJA**

SEGUNDO SUPLENTE: Profesora: **FABIOLA GONZÁLEZ OLGUÍN**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN
EDUCATIVA EN QUÍMICA, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA:

KIRA PADILLA MARTÍNEZ

SUSTENTANTE:

CARLOS BELTRÁN REVILLA

Contenido

Índice de tablas	5
Índice de ilustraciones	6
Resumen	7
1. Introducción.....	7
2. Marco Teórico	10
2.1 El desarrollo de la tabla periódica y propiedades periódicas.....	10
2.1.1 Las tríadas de Döbereiner.....	11
2.1.2 Paréntesis de una idea presocrática	12
2.1.3 Los elementos químicos y las notas musicales	13
2.1.4 Los grupos naturales de los elementos.....	15
2.1.5 La primera gráfica de una propiedad periódica.....	17
2.1.6 El epítome: Dmitri Ivanovich Mendeléiev.....	19
2.2 Acerca de la indagación para la enseñanza de las ciencias.....	22
2.3 ¿Por qué contar historias? Historia de la ciencia en el aula.....	27
2.4 Desarrollo de habilidades de pensamiento científico en la enseñanza	31
2.4.1 Argumentación	32
2.4.2 Pensamiento químico.....	33
2.4.3 Uso de modelos en la ciencia	35
2.4.4 Pensamiento matemático y matematización.....	37
2.4.5 Diseño de experimentos.....	38
2.5 Enfoques alternativos para la enseñanza de la tabla periódica y propiedades periódicas.....	40
3. Metodología.....	52

3.1 Problema y pregunta de investigación	52
3.2 Objetivo de la investigación	53
3.3 Hipótesis	54
3.4 Metodología	54
4. Resultados y análisis.....	59
4.1 Primer actividad relacionada con Döbereiner (D1)	60
4.2 Segunda actividad relacionada con Döbereiner (D2)	69
4.3 Tercera actividad relacionada con Döbereiner (D3).....	79
4.4 Primer actividad relacionada con Newlands (N1)	86
4.5 Segunda actividad relacionada con Newlands (N2)	97
4.6 Primera actividad relacionada con Odling (O1)	109
4.7 Segunda actividad relacionada con Odling (O2)	121
4.8 Primera actividad relacionada con Mendeléiev (M1).....	131
4.9 Segunda actividad relacionada con Mendeléiev (M2).....	145
4.10 Tercera actividad relacionada con Mendeléiev (y Meyer) (M3)	149
4.11 Actividad del diseño experimental (E1)	154
5. Discusión	166
6. Conclusiones.....	175
Bibliografía.....	177
Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica	187
Apéndice 2. Tabla de Mendeléiev para recortar.....	198

Índice de tablas

Tabla 1. Artículos que incluyen propuestas para la enseñanza de la tabla periódica.	44
Tabla 2. Códigos relacionados con la actividad D1.	61
Tabla 3. Matriz de coocurrencias de los códigos más relevantes de la actividad D1.	66
Tabla 4. Códigos relacionados con la actividad D2.	69
Tabla 5. Códigos relacionados con la actividad D3.	79
Tabla 6. Códigos relacionados con la actividad N1.	86
Tabla 7. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo A para N1.	90
Tabla 8. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo B para N1.	92
Tabla 9. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo C para N1.	93
Tabla 10. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo D para N1.	94
Tabla 11. Códigos relacionados con la actividad N2.	97
Tabla 12. Matriz de coocurrencias para los códigos de la actividad N2.	104
Tabla 13. Códigos relacionados con la actividad O1.	110
Tabla 14. Matriz de coocurrencias de los seis códigos de mayor enraizamiento en la segunda parte de la actividad O1.	118
Tabla 15. Códigos relacionados con la actividad O2.	121
Tabla 16. Matriz de coocurrencias entre códigos de contenidos y códigos de argumentación en O2.	126
Tabla 17. Códigos relacionados con la actividad M1.	133
Tabla 18. Coocurrencias de los "macrocódigos" de M1.	139
Tabla 19. Coocurrencias de códigos de M1 en relación con los huecos del sistema construido.	140
Tabla 20. Códigos relacionados con la actividad M2.	145
Tabla 21. Matriz de coocurrencias de los códigos de M2.	146
Tabla 22. Códigos relacionados con la actividad M3.	149
Tabla 23. Códigos relacionados con la actividad E1.	154
Tabla 24. Coocurrencias de la clasificación de los DF con los tipos de grupos.	160

Tabla 25. Coocurrencias de los tipos de DF y los códigos relacionados con el diseño del experimento	161
Tabla 26. Coocurrencias de los tipos de DF con los códigos que involucran pensamiento químico.	163
Tabla 27. Habilidades de pensamiento científico encontradas en cada actividad.	166

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Tabla de Newlands de 22 elementos de 1864.	14
Ilustración 2. Tabla de Odling de 1864.	16
Ilustración 3. Tabla de Julius Lothar Meyer de 1864.	18
Ilustración 4. Primera tabla periódica de Mendeléiev, publicada en 1869.	20
Ilustración 5. Tabla de Mendeléiev de 1871.	21
Ilustración 6. “Patrón de Argumentación de Toulmin”	33
Ilustración 7. Nube de palabras usada para el primer nivel de codificación.	60
Ilustración 8. Diagrama Sankey de los cuatro códigos con mayor presencia en las respuestas de la actividad D1.	67
Ilustración 9. Red de códigos sobre las ideas más comunes que aparecen en la actividad D2	76
Ilustración 10. Red de códigos que caracterizan a la mayoría de las respuestas en D3	84
Ilustración 11. Diagrama Sankey de cinco códigos importantes para la actividad N2.	107
Ilustración 12. Diagrama Sankey de los códigos más relevantes relacionados con la escritura de los óxidos para la actividad O1.	115
Ilustración 13. Arreglo sugerido para la tabla del Apéndice 2.	132
Ilustración 14. Diagrama Sankey que representa las coocurrencias de la Tabla 19.	141
Ilustración 15. Diagrama Sankey de las coocurrencias entre la clasificación de los DF con los tipos de grupos.	160

Cómo citar este trabajo: Beltrán Revilla, C. (2024). *Análisis de las habilidades de indagación en los alumnos de Química General I en torno al tema de “Propiedades periódicas”*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].

Resumen

La secuencia didáctica que forma parte del objeto de estudio de este trabajo es una propuesta desde la historia de la ciencia, con un enfoque de indagación para la enseñanza de la tabla periódica a estudiantes de primer semestre de universidad de la Facultad de Química de la UNAM. Se desea conocer de qué manera se desarrollan las habilidades de pensamiento científico (como la habilidad de argumentar o el pensamiento matemático) en los estudiantes cuando responden las actividades de dicha secuencia. El estudio se realizó a través de una investigación cualitativa, a través del software de ATLAS.ti para hacer el análisis de las respuestas a las actividades. Se encontró que se desarrollan habilidades de pensamiento científico en la mayoría de las actividades, de las cuáles se destacan dos, la habilidad para argumentar y el pensamiento en términos de conceptos químicos (pensamiento químico).

1. Introducción

La tabla periódica es un tema fundamental para la enseñanza de la química, ya que, a pesar de ser un tema básico y central, en esta convergen numerosos conceptos importantes, como la masa atómica relativa, el número atómico o el comportamiento similar de elementos de una familia, entre otros, y que poco a poco, el estudiante de educación superior va comprendiendo conforme avanza su formación como profesional de la química. Sin embargo, no basta con sentarse a observarla y leer algunos cuantos renglones de un libro de texto para comprender el significado de cada recuadro y de cada dato que en esta se aprecian. Actualmente se pretende, que con unas pocas ideas clave que provienen de la física moderna como los protones, neutrones, electrones u orbitales atómicos; quede explicado en su totalidad este sistema de clasificación de los elementos (Scerri, 2019).

No obstante, su contenido, así como su origen, van más allá de la física moderna. La historia de la tabla periódica, o mejor dicho, de los sistemas de clasificación periódicos de los elementos se remontan al siglo XIX (van Spronsen, 1969). A través de esa historia, la

tabla periódica deja de ser una construcción hecha a partir de un conjunto de reglas, para convertirse en uno de los grandes logros colectivos de la química. A la par que se retoma la historia de la tabla periódica, surgen con ello nuevas interrogantes, ¿Cómo incluir la historia en la enseñanza de la química? Y ¿Qué aporta su inclusión a la misma enseñanza de la ciencia? En esta tesis se abordan estas cuestiones a partir de tres ejes principales: la historia de la ciencia; la indagación en la enseñanza de la ciencia; y el desarrollo de habilidades de pensamiento científico.

Hoy en día es posible encontrar distintas propuestas (como las que se presentan en el apartado 2.5) para la enseñanza de la tabla periódica, sin embargo, pocas son las que se construyen en torno a esos tres ejes. Lo que se pretende es saber de qué manera los estudiantes desarrollan las habilidades de pensamiento científico, a través de una secuencia didáctica construida con una narrativa que usa a la historia de la ciencia, y que se basa en un enfoque de indagación.

Se entiende por habilidades de pensamiento científico (HPC) a *“las habilidades cognitivas [...] que les permiten a los estudiantes aplicar el conocimiento conceptual, procedimental y actitudinal, en diferentes contextos”* (Lavín Arteaga, 2014, p. 68). En particular, en este trabajo se buscan cinco habilidades de pensamiento científico: Argumentación; Pensamiento químico; Uso de modelos en la ciencia; Pensamiento matemático; y Diseño de experimentos. Además, se entiende que estas habilidades, son una forma de operacionalizar la enseñanza a través de la indagación científica.

El enfoque de este trabajo es cualitativo, por lo que no se incluyen pruebas estadísticas de comparación, ni de ningún otro tipo, y en su lugar se optó por estudiar variables que difícilmente pueden ser medidas (HPC) para poder apreciar mejor sus cualidades. Asimismo, ya que el análisis a partir del software ATLAS.ti no está tan extendido en la investigación en educación de la química, no existe otro trabajo que aborde el problema de esta forma.

Se sugiere al lector que haga uso de los apéndices 1 y 2 que se encuentran al final de esta tesis. El primero es la secuencia didáctica cuyas respuestas fueron analizadas para el propósito de este trabajo. El segundo, es una tabla de recortar que permite resolver la actividad 10 de la secuencia didáctica, y que está relacionada a Mendeléiev. Si se intentan

resolver, se tendrá mayor claridad sobre los contenidos que se exponen en el marco teórico, se facilitará la comprensión del análisis de resultados, y por último, es posible que el lector se lleve algunas sorpresas al relacionar sus respuestas con las que se presentan en el análisis.

En el marco teórico (capítulo 2), el trabajo comienza mostrando aspectos históricos relevantes en el desarrollo de la tabla periódica y que se relacionan con la secuencia didáctica que se muestra en el Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica. (capítulo 2.1), después presenta qué es la indagación para la enseñanza de la ciencia y cuál es la postura que se tiene al respecto (capítulo 2.2). También se incluye una justificación en pro de incluir la historia de la ciencia en las aulas (capítulo 2.3), y se describen las habilidades de pensamiento científico que se analizan a lo largo de las actividades (capítulo 2.4). Por último, se hace un recuento que no pretende ser exhaustivo sobre las distintas propuestas que hay en la bibliografía para la enseñanza de la tabla periódica (capítulo 2.5). A lo largo de estos capítulos, se procura hacer un comentario para recordar por qué cada tema es importante en este trabajo, y qué conexiones tiene con las actividades de la secuencia didáctica.

En la metodología (capítulo 3), se exponen a la par el problema y la pregunta de investigación (capítulo 3.1), el objetivo general y los objetivos particulares (capítulo 3.2), se presenta una hipótesis (capítulo 3.3) y al final en la metodología (capítulo 3.4) se describe a la población que se estudia, se detalla cómo se capturaron los datos de análisis y se explica el uso del software ATLAS.ti.

Después se conjuntan la presentación de los resultados con el análisis simultáneo de estos (capítulo 4), el análisis se hizo por cada actividad que conforma la secuencia didáctica, y en cada apartado se encuentran tablas para sintetizar la información y algunas ilustraciones que permiten visualizar el análisis. En la discusión (capítulo 5) se retoma la pregunta de investigación, y se abordan cuestiones que quedaron pendientes por tratar en el análisis. Y en la conclusión (capítulo 6) se da respuesta a la pregunta, se contrasta la hipótesis y se añaden puntos adicionales sobre los resultados de este trabajo.

2. Marco Teórico

2.1 El desarrollo de la tabla periódica y propiedades periódicas.

Es común encontrar en los libros de texto de química al menos un capítulo en que se aborde el estudio de la tabla periódica como un sistema de clasificación, representación gráfica, o modelo, que permite organizar a los elementos químicos y agruparlos según las propiedades que estos tienen; sin embargo, suele omitirse que, para llegar a la tabla periódica que se conoce actualmente, tuvieron que transcurrir varias décadas con la intervención de varios químicos e investigadores, el más conocido de ellos es Dmitri Mendeléiev, cuyo trabajo es la culminación de esos años de esfuerzo y disertaciones que se llevaron a cabo durante el siglo XIX (Scerri, 2019).

En primer término, para comprender la razón por la que el siglo XIX es crucial en el desarrollo de la tabla periódica, tan solo basta comparar los 34 elementos que se conocían en el año de 1800 contra los casi 65 elementos descubiertos hasta 1869 (Merck KGaA, 2018), el año en que Mendeléiev publica su primer *sistema periódico* (Meyer y Mendeléiev, 1895). La aparición de nuevas sustancias, así como sus semejanzas en comportamiento químico con algunas ya conocidas, promueven la búsqueda de formas de organización que a su vez sugieren cuestiones más profundas en cuanto a la naturaleza de la *materia*, como la razón por la que algunos elementos reaccionan de manera similar, o cuántos faltaban por descubrir. Esto quiere decir que el descubrimiento de los elementos y la periodicidad que presentan en sus propiedades se va descubriendo a la par, respaldado por ideas consideradas ya sea brillantes y bien acogidas, como lo fueron las tríadas de Döbereiner, así como sin sentido y duramente criticadas, como sucedió con las octavas de Newlands.

Antes de comenzar con la narración histórica, es pertinente hacer una aclaración sobre el uso del término de “peso atómico”. Si bien, actualmente se opta por el término “masa atómica relativa” sugerido por la IUPAC, en la literatura científica del siglo XIX se utilizan los “pesos atómicos” (*atomic weight*, en inglés y *Atomgewichte* en alemán) y los “pesos equivalentes” como en los artículos de John Newlands. Esto va de la mano con las técnicas de determinación de los valores a través de realizar mediciones que implicaban pesar

(Caamaño y Irazoque, 2009). En este trabajo, se mantendrá el uso del término “peso atómico” durante la exposición histórica.

A continuación, se presentan los trabajos realizados por una serie de químicos del siglo XIX, cuyas ideas e investigaciones fueron consideradas para la planeación de un conjunto de actividades dirigidas a la enseñanza del tema de propiedades periódicas y tabla periódica con un enfoque en la historia de las ciencias.

2.1.1 Las tríadas de Döbereiner

Wolfgang Döbereiner nació en la ciudad de Hof en 1780, ciudad que pertenece a la actual Alemania. Fue un pionero en agrupar elementos por sus propiedades similares, además, lo logró a través de una peculiaridad numérica, razón por la que esta idea fue aceptada sin problemas. Su propuesta, publicada por primera vez en 1817 (van Spronsen, 1969), consistía en formar tríadas, grupos de tres elementos cuyo comportamiento químico es semejante y cuyos pesos atómicos cumplen con la siguiente relación: *La mitad de la suma de los pesos atómicos de los elementos con el menor y el mayor peso, da un valor aproximado al peso atómico del elemento intermedio de la tríada*. Así, consiguió formar las siguientes tríadas: Litio, Sodio y Potasio; Calcio, Estroncio y Bario; Cloro, Bromo y Iodo; y Azufre, Selenio y Teluro (Scerri, 2019).

Esta idea se retomó y desarrolló por otros investigadores europeos como: Leopold Gmelin, quien logró proponer en 1843 un sistema que incluía más de 50 elementos con un acomodo que retomaba a las tríadas, pero con algunas modificaciones; Max Pettenkofer, quien propone algo muy parecido a las tríadas, haciendo un énfasis en relaciones matemáticas basadas en las diferencias de los valores de peso atómico; Peter Kremers; Jean Baptiste André Dumas; John Hall Gladstone; Josiah Parsons Cooke; Ernst Lenssen; y Carey Lea (van Spronsen, 1969; Scerri, 2019).

El potencial encontrado en la propuesta de Döbereiner es el desarrollo del pensamiento matemático visto como una habilidad de pensamiento científico, esto sucede al momento de guiar a los alumnos a través de la actividad para que, por cuenta propia,

encuentren la relación matemática que hay entre los pesos atómicos de los elementos de una tríada.

2.1.2 Paréntesis de una idea presocrática

Debido a la investigación de múltiples químicos del siglo XIX, enfocada en obtener valores cada vez más exactos de los pesos atómicos (Venable, 1896), hubo quienes no tardaron en especular sobre el hecho de que las cantidades obtenidas eran múltiplos del peso del hidrógeno, con todo y la implicación filosófica que ello tenía acerca de la composición de toda la materia conformada por una sustancia elemental (Scerri, 2019).

William Prout fue un científico nacido en Inglaterra en 1785 y que tuvo interés en la química experimental. En 1815 publicó un artículo en la revista ‘*Annals of Philosophy*’¹ bajo el anonimato. En el artículo, Prout incluye tres tablas donde hace la división de gravedades específicas y pesos atómicos, tomando al hidrógeno, al oxígeno y al aire atmosférico como la unidad y comparando los valores entre sí, esto para demostrar que los pesos atómicos son números enteros cuando se toma como referencia al hidrógeno (Prout, 1815).

Un año después, publica otro artículo relacionado al primero en el que hace correcciones de una de las tablas y, además de mencionar las ventajas de considerar al peso del hidrógeno igual a la unidad, sugiere la siguiente idea: “*If the views we have ventured to advanced be correct, we may almost consider the πρώτη ὕλη of the ancients to be realised in hydrogen, an opinion, by the by, not altogether new.*”² (Prout, 1816, p. 113).

Con esto, Prout renueva la idea griega sobre la existencia de una sustancia elemental que conforma toda la materia, animada e inanimada (van Spronsen, 1969). A su vez, esto fue

¹ El nombre completo es ‘*Annals of Philosophy; or, Magazine of Chemistry, Mineralogy, Mechanics, Natural History, Agriculture, and the Arts*’ (‘Anales de Filosofía; o, Revista de Química, Mineralogía, Mecánica, Historia Natural, Agricultura y las Artes’). Se observa el carácter de la palabra “Filosofía” para referirse a un conocimiento en general de la naturaleza y no en el sentido actual. La revista era editada por Thomas Thomson en Londres (BHL, s.f.).

² “Si los puntos de vista que nos hemos aventurado a presentar son correctos, casi podemos considerar el protipo de los antiguos realizado en el hidrógeno; una opinión, a propósito, no del todo nueva”, traducción propia.

un aliciente para la investigación cuantitativa del siglo XIX, encausada ya sea a corroborar dicha hipótesis o a refutarla (Scerri, 2019).

Con los lentes del presente, se sabe que los valores de peso atómico no corresponden con números enteros debido a la existencia de los isótopos, y de cuyo promedio ponderado con la abundancia relativa depende dicho parámetro. También se sabe que si bien, todos los átomos no se conforman por distintos “arreglos” que pudiera tener el hidrógeno, sí son “arreglos” de las mismas partículas subatómicas: protones, neutrones y electrones. Esta es información con que los estudiantes cuentan al momento de resolver la actividad correspondiente a Prout, pero que raramente retoman para argumentar sus respuestas.

2.1.3 Los elementos químicos y las notas musicales

John Alexander Reina Newlands nació en 1837 y fue muy activo durante la década de 1860. Sus artículos, que fueron publicados en la revista ‘*Chemical News*’, se dirigían a proponer una organización por grupos de los elementos químicos (Newlands, 1884), en el mismo sentido de “grupo” que usamos hoy en día.

Uno de los principales criterios utilizados por Newlands para estructurar su propuesta, fue el orden ascendente de los pesos atómicos; aunque también usó otros que le fueron dando forma a sus ideas, como las relaciones numéricas entre los pesos. Esto es importante mencionarlo porque los estudiantes hacen uso de este tipo de consideraciones al resolver las actividades relacionadas con este investigador.

Otro aspecto importante es que Newlands propuso su renombrada “Ley de las Octavas”, a través de una tabla que involucra solamente 24 elementos de los 60 conocidos en ese momento (Newlands, 1884). En ella hace un símil entre los elementos químicos y las notas musicales, pues, así como las notas se repiten en cada octava, también lo hacían las propiedades de los elementos pertenecientes a un mismo grupo (en esa época no se habían descubierto los gases nobles).

	Group	a	N	No.	6	P	No.	13	As	No.	26	Sb	No.	40	Bi	No.	54
		”	b	O	7	S	No.	14	Se	No.	27	Te	No.	42	Os	No.	50
		”	c	Fl	8	Cl	No.	15	Br	No.	28	I	No.	41	—	No.	—
		”	d	Na	9	K	No.	16	Rb	No.	29	Cs	No.	43	Tl	No.	52
		”	e	Mg	10	Ca	No.	17	Sr	No.	30	Ba	No.	44	Pb	No.	53

Ilustración 1. Tabla de Newlands de 24 elementos, publicada en 1864 en el artículo “*On Relations Among the Equivalents*”, en la revista “*Chemical News*”, 10, 94 (Newlands, 1884).

Las tablas hechas por Newlands fueron varias, a través de las cuales podemos ver la evolución de su sistema. La Ilustración 1 muestra una tabla en la que agrupa elementos que, en su mayoría, hoy reconocemos dentro de los elementos representativos. Los números asignados por Newlands a los elementos corresponden a su ordinalidad al colocar los elementos de manera ascendente de acuerdo con sus pesos atómicos (Newlands, 1884, p. 11). Por eso el Nitrógeno adquiere el número 6, considerando que el Helio aún no era descubierto.

Si bien fue duramente criticado por esta comparación (Scerri, 2019), él mismo aclaró que estos ciclos de 8 podían extenderse a 9, 10 o más elementos según los que se descubrieran en un futuro. Con esta aseveración le da verdadera importancia al comportamiento periódico como una prueba concisa de la relación existente entre los elementos, escribiendo en el prefacio de su libro ‘*On the Discovery of the Periodic Law and on Relations Among the Atomic Weights*’ [‘Sobre el Descubrimiento de la Ley Periódica y sobre la Relación entre los Pesos Atómicos’]: “*The fact that such a simple relation exists now affords a strong presumptive proof that it will always continue to exist, even should hundreds of new elements be discovered.*”³ (Newlands, 1884, p. vii).

Existen tablas posteriores de Newlands, donde su sistema ha alcanzado cierta madurez e incluye elementos metálicos de los hoy denominados “metales de transición” (Newlands, 1884), sin embargo, esos trabajos no serán abordados en esta obra para dejar

³ “El hecho de que exista una relación tan simple nos ofrece ahora una prueba fuerte y plausible de que siempre existirá, aun si cientos de nuevos elementos son descubiertos”, traducción propia.

lugar a los otros investigadores que además de considerar más aspectos, propusieron sistemas más parecidos a la tabla periódica que conocemos actualmente.

Se aprecia en Newlands la capacidad y sencillez que tuvo para introducir una noción de orden en el acomodo de los elementos a través de la “Ley de las Octavas”. Esta característica es aprovechada en la propuesta de las actividades para mostrar a los alumnos la importancia que adquirió el hecho de considerar el peso atómico de los elementos para ser organizados de forma creciente y, cómo de esta manera, se logró apreciar el carácter periódico en el comportamiento de los elementos químicos y sus propiedades.

2.1.4 Los grupos naturales de los elementos

William Odling (1829-1921) fue un científico distinguido que tuvo cargos importantes a lo largo de su carrera en el ‘*Guy’s hospital*’ y en la ‘*Chemical Society*’. Sus intereses y publicaciones iban dirigidos desde la química y su nomenclatura, hasta investigaciones médicas. Fue de los afortunados que pudo asistir al congreso de Karlsruhe (1860), lo que le permitió conocer y hacer uso de los valores de peso atómico obtenidos por Cannizzaro para la construcción de su sistema periódico. Dicho sistema lo publica en el artículo ‘*On the Proportional Numbers of the Elements*’ [‘Sobre los Números Proporcionales de los Elementos’] (Odling W. , 1864). Las ideas de Odling implican relaciones aritméticas entre los pesos de elementos que “son capaces de distribuirse en ciertos grupos naturales, o familias” (Odling W. , 1861).

Es de resaltar que ya aparece el concepto de familia, entendido prácticamente de la misma manera en que se hace el día de hoy. No obstante, es necesario mencionar que Odling sí considera aspectos matemáticos entre los valores de pesos atómicos para establecer las relaciones que hay entre ellos, como las diferencias ente los valores de 48 y 16 [unidades], sin embargo, al hablar de “grupos naturales” también reconoce el carácter cualitativo de la relación entre estos elementos, es decir, su comportamiento químico, tanto, que incluso su libro de texto ‘*A manual of Chemistry Descriptive and Theoretical. Part I*’ [‘Manual de Química Descriptiva y Química Teórica. Parte I’] está estructurado de manera que expone los elementos y sus reacciones en torno a estos grupos.

			{ Ro 104	Pt 197
			{ Ru 104	Ir 197
			{ Pt 106·5	Os 199
..... H 1	„	„	Ag 108	Au 196·5
„	„	Zn 65	Cd 112	Hg 200
..... L 7	„	„	„	Tl 203
G 9	„	„	„	Pb 207
..... B 11	Al 27·5	„	U 120	„
C 12	Si 28	„	Sn 118	„
..... N 14	P 31	As 75	Sb 122	Bi 210
O 16	S 32	Se 79·5	Te 129	„
..... F 19	Cl 35·5	Br 80	I 127	„
..... Na 23	K 39	Rb 85	Cs 133	„
Mg 24	Ca 40	Sr 87·5	Ba 137	„
	Ti 50	Zr 89·5	Ta 138	Th 231·5
	„	Ce 92	„	„
	Cr 52·5	Mo 96	{ V 137	„
	{ Mn 55		{ W 184	
	{ Fe 56			
	{ Co 59			
	{ Ni 59			
	{ Cu 63·5			

Ilustración 2. Tabla de Odling de 1864 que se encuentra publicada en su artículo ‘*On the Proportional Numbers of the Elements*’.

A través de las ideas de Odling se puede dar prioridad al carácter cualitativo de los elementos que constituyen una familia, tanto su comportamiento químico en las reacciones (como la formación de óxidos), como las propiedades físicas que estos presentan. Así, es posible dar lugar al desarrollo del pensamiento químico, que complementa al pensamiento matemático que se aborda en la actividad de Döbereiner, y refuerza el concepto de periodicidad introducido con Newlands.

2.1.5 La primera gráfica de una propiedad periódica

Julius Lothar Meyer fue un químico oriundo de Alemania que nació en 1830, siendo cuatro años mayor que Mendeléiev y, así como él, estuvo presente en el congreso de Karlsruhe de 1860. Al igual que Odling y muchos otros investigadores de la química, pudo escuchar la conferencia de Cannizzaro, en donde defendió y aclaró varias ideas en torno a la teoría atómica, la hipótesis de Avogadro, la ley de Gay-Lussac, el método de Dumas para determinar pesos moleculares y la ley de Dulong-Petit, entre otras (Román Polo, 2010).

La influencia que dicha conferencia ejerció en Meyer se ve reflejada en su primera edición del libro de texto *‘Die modernen Theorien der Chemie and ihre Bedeutung für die chemische Statik’* [‘La teoría moderna de química y su significado para la estática química’] (Meyer, 1864), en el cual dedica los primeros capítulos para tratar los principios mencionados en el párrafo anterior. A su vez, en el apartado 91 de esta misma obra, Meyer publica su primera tabla (Ilustración 3) en la que acomoda 28 elementos, organizados en columnas de acuerdo con sus valencias (*werthig*) y señalando las diferencias entre los valores de pesos atómicos.

Hay dos cuestiones que resultan interesantes en su tabla: la primera es el espacio que queda indicado entre el Silicio y el Estaño en la primera columna, de donde puede obviarse el valor del peso atómico que correspondería al elemento que se localizaría en ese lugar a partir de las diferencias marcadas de 44.55 [unidades], siendo su peso un valor intermedio entre los dos elementos en el extremo de esta tríada de elementos. Aunque Meyer no hizo explícita esta aclaración, sólo quedó insinuado, razón por la que la predicción del Germanio se le atribuye a Mendeléiev (Scerri, 2019). Esta declaración implícita permite ver el alcance que tuvo la idea de las tríadas de Döbereiner.

La segunda cuestión es que no existe una columna que contenga a los elementos que el día de hoy reconocemos como la familia de los elementos térreos (o del Boro). Pero no es un error atribuible sólo a Meyer, ya que el acomodo de la mayoría de los elementos metálicos (esto es, los hoy llamados “metales de transición”, “tierras raras”, junto con el Boro, Aluminio, Indio y Talio) fueron un verdadero dolor de cabeza para quien se propusiera a

encontrar un acomodo periódico a tales elementos (Scerri, 2019). Solo hasta 1870, Meyer propuso una tabla donde sí aparecía esta familia, en un artículo intitulado *‘Die Natur der chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte’* [‘La naturaleza de los elementos químicos como función de su peso atómico’], el cual fue compilado por Karl Seubert en un libro que incluye artículos de Meyer y Mendeléiev en conjunto (Meyer y Mendeléiev, 1895).

A propósito de esta última mención, en dicho artículo, Meyer incluye una gráfica del volumen atómico contra el peso atómico de los elementos [véase el Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica], la cual es la primera en su tipo y que recuerda al tipo de gráfica que se suele encontrar al tratar el tema de propiedades periódicas (como la de la primera energía de ionización contra el número atómico). Esto es importante, ya que hace evidente la periodicidad sobre la que tanto se había discutido en los años anteriores y que le costó la burla de la comunidad a figuras como John Newlands.

	4 werthig	3 werthig	2 werthig	1 werthig	1 werthig	2 werthig
Differenz =	—	—	—	—	Li = 7,03	(Be = 9,3?)
	—	—	—	—	16,02	(14,7)
Differenz =	C = 12,0	N = 14,04	O = 16,00	Fl = 19,0	Na = 23,05	Mg = 24,0
	16,5	16,96	16,07	16,46	16,08	16,0
Differenz =	Si = 28,5	P = 31,0	S = 32,07	Cl = 35,46	K = 39,13	Ca = 40,0
	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	44,0	46,7	44,51	46,3	47,6
Differenz =	—	As = 75,0	Se = 78,8	Br = 79,97	Rb = 85,4	Sr = 87,6
	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	45,61	49,5	46,8	47,6	49,5
Differenz =	Sn = 117,6	Sb = 120,6	Te = 128,3	J = 126,8	Cs = 133,0	Ba = 137,1
	89,4 = 2.44,7	87,4 = 2.43,7	—	—	(71 = 2.35,5)	—
	Pb = 207,0	Bi = 208,0	—	—	(Tl = 204?)	—

Ilustración 3. Tabla de Julius Lothar Meyer de 1864, incluida en su libro *‘Die modernen Theorien der Chemie and ihre Bedeutung für die chemische Statik’*.

Es a partir de esta gráfica y del sistema construido por Meyer, que se les pide a los estudiantes que hagan una comparación con la tabla de Mendeléiev, que busquen diferencias

y puntos de encuentro entre las dos. Con esto se busca que los alumnos usen el pensamiento crítico con los conceptos y las bases que se han ido discutiendo hasta este punto.

2.1.6 El epítome: Dmitri Ivanovich Mendeléiev

Es arduo el trabajo de investigación que se ha hecho en torno a la vida y obra de este notable investigador y docente (Scerri, 2019), debido al importante papel que tuvo entre la comunidad científica en la defensa y el fomento de la idea de la periodicidad química y el sistema de clasificación de los elementos. Nació en la ciudad siberiana de Tobolsk en 1834 y a sus 15 años viajó a San Petersburgo para tomar clases de ciencias y pedagogía. Como ya se mencionó, asistió al congreso de Karlsruhe en 1860, y para el año de 1861 publicó su primer libro de texto enfocado a la sistematización de la química orgánica, siendo un preámbulo y una motivación para la publicación de otro escrito dedicado a la sistematización de la química inorgánica (van Spronsen, 1969).

Mendeléiev se ha convertido en una figura mítica en la historia de la química en dos sentidos: primero, por el legado que ha dejado a la química como ciencia, y segundo, porque en torno a él se han disipado rumores e historias acerca de “su creación”, la tabla periódica (Scerri, 2019).

Como se ha visto, la existencia del entonces escurridizo sistema periódico de los elementos ya había llamado la atención de varios investigadores durante el siglo XIX, sin embargo, los laureles son para Mendeléiev, y no es para menos, pues si bien, personalidades como John Newlands o William Odling tuvieron ideas notables en este campo, fue Mendeléiev quien consiguió promover ampliamente la idea de la periodicidad, consolidó sus ideas a través de una exposición clara y llevó su sistema hasta límites que ni siquiera Meyer, con todo su rigor teórico se atrevió, al hacer explícitas predicciones de elementos por descubrir y algunas de sus propiedades (Scerri, 2019).

En 1869 Mendeléiev publicó su primera tabla periódica (Ilustración 4) (Laing, 2008), y aunque su apariencia aún dista mucho de la moderna tabla periódica, y su acomodo nos recuerda más bien a la tabla elaborada por W. Odling (Ilustración 2), la manera en que agrupa a los elementos ya es bastante diferente. Esta fue sólo la primera de alrededor de unas 30

tablas publicadas de su autoría (Scerri, 2019), las cuales fue “puliendo” cada vez, hasta llegar a las tablas que se parecen más a la que conocemos desde nuestros años de educación básica. Obsérvese cómo desde esta primera tabla, ya se predice la existencia de los elementos con pesos atómicos de 45, 68 y 70 [unidades], correspondientes al Escandio, Galio y Germanio en ese mismo orden.

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ**

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Ilustración 4. Primera tabla periódica de Mendeléiev, publicada en 1869 por Dmitri Mendeléiev. Imagen tomada del artículo ‘*The Different Periodic Tables of Dmitrii Mendeleev*’ (Laing, 2008).

Para Mendeléiev, el peso atómico era un criterio fundamental en la organización de los elementos, con la cual se ordenaban de modo ascendente. Además, los grupos eran dados

por las valencias de los elementos. Y aunque no hace explícitas otras propiedades, queda claro que sí les daba importancia (aunque no tanto como Meyer con su gráfico de Volumen contra Peso atómico), ya que, junto con los elementos predichos a través de sus pesos, también lo fue la gravedad específica y el volumen atómico (Scerri, 2019).

216		VI. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ							
в статье 1871 г. дать развернутое изложение периодического закона и мало отличающуюся от современной форму периодической системы:		Группа I	Группа II	Группа III	Группа IV	Группа V	Группа VI	Группа VII	Группа VIII переходная к группе I
Типические элементы		H 1							
Первый период	Ряд 1	Li 7	Be 9,4	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19	
	" 2	Na 23	Mg 24	Al 27,3	Si 28	P 31	S 32	Cl 35,5	Fe Co Ni Cu 56 59 59 63
Второй период	" 3	(Cu) 63	Zn 65	— 68	— 72	As 75	Se 78	Br 80	
	" 4	Rb 85	Sr 87	(Y) (88?)	Zr 90	Nb 94	Mo 96	— 100	Ru Rh Pd Ag 104 104 104 108
Третий период	" 5	(Ag) (108)	Cd 112	In 113	Sn 118	Sb 122	Te 128?	I 127	
	" 6	Cs 133	Ba 137	— 137	Ce 138?	—	—	—	—
Четвертый период	" 7	—	—	—	—	—	—	—	—
	" 8	—	—	—	—	Ta 182	W 184	—	Os Ir Pt Au 199? 198? 197 197
Пятый период	" 9	(Au) (197)	Hg 200	Tl 204	Pb 207	Bi 208	—	—	
	" 10	—	—	—	Th 232	—	U 240	—	
Высшая соляная окись		R ₂ O	R ₂ O ₂ или RO	R ₂ O ₃	R ₂ O ₄ или RO ₂	R ₂ O ₅	R ₂ O ₄ или RO ₃	R ₂ O ₇	R ₂ O ₈ или RO ₄
Высшее водородное соединение				(RH ₅ ?)	RH ₄	RH ₃	RH ₂	RH	

Ilustración 5. Tabla de Mendeléiev de 1871. Imagen tomada del artículo 'The Different Periodic Tables of Dmitrii Mendeleev' (Laing, 2008).

En la tabla publicada en 1871 (Ilustración 5), sólo dos años después de la primera, donde es muy claro cómo utiliza las valencias: se basa en las proporciones en que cualquier

elemento “R” forma compuestos con el hidrógeno y el oxígeno (Laing, 2008). Este dato es de relevancia para el planteamiento de las actividades en torno a Mendeléiev, pues en conjunto con el parámetro de peso atómico, otorga información suficiente para que los estudiantes indaguen y propongan un sistema de clasificación que involucre varios elementos, con criterios claros y bien justificados.

2.2 Acerca de la indagación para la enseñanza de las ciencias

La enseñanza de la ciencia bajo un enfoque de indagación no es un tema reciente, y resulta pertinente señalar sus orígenes para entender o tener una noción más clara de cómo se entenderá en este trabajo el concepto de indagación, ya que el término puede tener diversos significados de acuerdo con el contexto en que se aplique (Flick y Lederman, 2006).

Barrow (2006) aborda la evolución del concepto de indagación (*‘inquiry’* en inglés) principalmente en la enseñanza de las ciencias en Estados Unidos de América, desde la mención por primera vez en un artículo de John Dewey (1910) hasta los estándares de la *‘National Research Council’* (NRC) a través del documento *‘National Science Education Standards’* (NSES), y tras analizar parte de la historia de este concepto a través del siglo XX, finaliza abogando por el alcance de un consenso sobre lo que es la indagación y su aplicación.

Ya desde el artículo titulado *‘Science as Subject-Matter and as Method’* (*‘La ciencia como contenido y como método’*) publicado en 1910, Dewey critica que la ciencia se enseña como un cúmulo de conocimientos con el que los estudiantes deben familiarizarse, en lugar de un “método de pensamiento”, en que los “hábitos mentales” son transformados. Tal como señala Dewey, el argumento principal del artículo es: *“that science teaching has suffered because science has been so frequently presented just as so much ready-made knowledge, so much subject-matter of fact and law, rather than as the effective method of inquiry into any*

subject-matter”⁴ (p. 124). Con esta afirmación es posible tener una idea de hacia dónde son dirigidas las investigaciones que retoman el enfoque de indagación en las aulas.

Años después, en 1958, Joseph Schwab publica un artículo intitulado ‘*The Teaching of Science as Inquiry*’ [‘La enseñanza de la ciencia como indagación’] (Schwab y Brandwein, 1966), en el cual ya se aborda a la indagación como idea central y Schwab intenta adaptar características que él considera fundamentales del conocimiento científico emergente, para proponer un cambio en la enseñanza de la ciencia a través de la indagación. Las tres propiedades que él distingue en el conocimiento científico son:

1. La referencia especial del conocimiento científico. Haciendo alusión a los objetos de estudio específicos, confinado a límites o circunstancias impuestas por la exigencia de la investigación, alejado de su contexto “normal”.
2. El carácter revisionario. A través del cual la ciencia se mantiene por dos líneas: una en la que la ciencia produce conocimiento a partir de un conjunto de principio; y otra en que la ciencia pone a prueba los principios por sí mismos, dirigidos a proponer otros más comprensibles.
3. El carácter plural. Debido a que los distintos cuerpos de conocimiento no se confunden ni se anulan el uno al otro, sino que cada uno toma partes distintas de un objeto de estudio.

Schwab parte de estas cualidades de la ciencia para criticar la idea de que el conocimiento científico es acumulativo, permanente e inflexible, y que la ciencia busca y encuentra, verdades inalterables. Lo que conlleva que la enseñanza de la ciencia se haga por una sola vía: mostrándola clara, inequívoca, con una presentación coherente y organizada de los contenidos, a lo que él llamó: ‘retórica de conclusiones’.

Para combatir esto, Schwab propone cambiar la enseñanza de la ciencia a través de la indagación (*‘inquiri’*), y lo argumenta ampliamente en el artículo ‘*The Teaching of Science*

⁴ “que la enseñanza de la ciencia se ha perjudicado porque la ciencia se presenta con frecuencia como un conocimiento prefabricado, como contenido ‘hecho y ley’, en lugar de presentarlo como un método efectivo de investigación (indagación) sobre cualquier tema”. Traducción propia.

as *Enquiry*' ['La enseñanza de la ciencia como indagación']⁵ (Schwab y Brandwein, 1966), donde hace una distinción entre dos tipos de indagaciones: una estable y otra fluida (*'stable enquiry'* y *'fluid enquiry'*). Según él, la *indagación estable* no cuestiona los principios con los que trabaja y está estrechamente relacionada con la producción de tecnología, mientras que la *indagación fluida* cuestiona sus propios principios, y opera en momentos en que estos fallan y no ofrecen ningún método para guiar la investigación, desembocando en el desarrollo de nuevas concepciones y líneas de *indagación estable*.⁶

El autor remarca que el laboratorio se vuelve un espacio privilegiado (Schwab J. , 1958; Schwab y Brandwein, 1966), para producir el cambio en la enseñanza de las ciencias. Pues en lugar de limitarlo para ejemplificar “leyes” y a familiarizar al estudiante con las técnicas y los equipos, se puede ampliar la visión, mostrando distintas situaciones a los alumnos para que formulen problemas y diseñen un plan experimental para dar una respuesta (o no), de la misma manera que en la ciencia no siempre se obtienen soluciones a una pregunta o problema.

Para cerrar con el trabajo de Schwab, también es necesario mencionar que para introducir la indagación en las clases que se conocen de manera coloquial como “teóricas”, él propone acompañar la enseñanza del contenido curricular, con aspectos de la historia de la ciencia, y también propuso algunas formas en que esto puede hacerse (Schwab J. , 1958). Con estas ideas es sencillo anclar el enfoque de indagación con: la historia, la filosofía y la naturaleza de la ciencia. Pues qué mejor forma de enseñar la ciencia no sólo como sus contenidos, sino también con las cualidades propias de ella y que la vuelven una actividad humana.

⁵ En el artículo de 1958, Schwab usa el término *'inquiri'*, mientras que en el título del artículo de 1966 usa *'enquiry'*, y aunque en inglés la palabra puede ser escrita de una forma u otra, por el contexto en que aparece cada una, es posible que Schwab utilizara la primera para hacer referencia a la indagación como tal, y la segunda para referirse más a las investigaciones científicas.

⁶ En este punto es imposible no pensar en “La estructura de las revoluciones científicas” de Thomas Kuhn, publicada de forma contemporánea en 1962, comparando estas ideas de Schwab con la *ciencia normal* y las *crisis en la ciencia*, producto de la acumulación de *anomalías*. Pero esto no es posible abordarlo con más detalle en este trabajo. Algunas pistas son ofrecidas ya por Matthews en un artículo muy reciente. (Matthews, Thomas Kuhn and the Science Education, 2022).

Posterior a Schwab, como comenta Barrow (2006), F. James Rutherford recomienda en 1964 que los profesores de ciencia tengan conocimiento de historia y filosofía de la ciencia. Y no es sino en los últimos 35 años (desde finales de la década de los ochenta) que la contemplación de la indagación para la enseñanza de la ciencia tiene un despliegue en diversos ámbitos: desde la crítica hacia los libros de texto, hasta su aparición en políticas gubernamentales de Estados Unidos.

La primera de estas políticas gubernamentales aparece en 1989 y se llama '*Project 2061*' (Barrow, 2006), pensada a largo plazo para reformar la educación básica en U.S.A., donde las recomendaciones establecidas para la enseñanza de la ciencia con indagación implican: iniciar con preguntas sobre la naturaleza, comprometer a los estudiantes de manera activa, recolectar y hacer uso de la evidencia, proveer una perspectiva histórica, usar un lenguaje de expresión claro, el trabajo colaborativo, y desenfatar la memorización de vocabulario técnico.

La segunda política corresponde a los '*National Science Education Standards*' (NSES) ["Estándares Nacionales para la Educación de la Ciencia"], publicados por la '*National Research Council*' (NRC) (Barrow, 2006), donde definen la indagación, tal como lo traducen Reyes-Cárdenas, F. y Padilla K. en su artículo (2012, p. 415): "*Indagación*: "Las diversas formas en las que los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo. La indagación también se refiere a las actividades de los estudiantes en la que ellos desarrollan conocimiento y comprensión de las ideas científicas".".

Además, el documento describe a la indagación de dos maneras (Barrow, 2006): la primera como lo que los estudiantes deben entender por indagación científica y las habilidades que desarrollan con base en su experiencia; y segundo, como las estrategias de enseñanza asociadas a las actividades con orientación de indagación científica.

En el año 2000, la NRC publicó otro documento para aclarar varios puntos en torno a las características que conforman la indagación y las habilidades que deben desarrollar los estudiantes, dividiendo estas en dos grupos, uno enfocado a la realización de las investigaciones científicas, y el otro en el cómo y por qué el conocimiento científico cambia, realizando el aspecto social de la ciencia.

Posteriormente, Martin-Hansen en 2002 propone cuatro tipos de indagación basado en los documentos de la NRC (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012), y otros investigadores como Bybee, Schwartz, Minner y Anderson (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012), se han inclinado por este enfoque para la enseñanza de la ciencia y el estudio de su aplicación en las aulas, además de la existencia de distintas propuestas educativas como el método POGIL (*‘Process-Oriented Guide Inquiry Learning’*) y MORE (“Modelo-Observo-Reflexiono-Explico”) (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012).

No obstante, también hay críticas hacia el enfoque de la indagación en la educación, como lo aborda Michael R. Matthews en su libro de “La enseñanza de la ciencia” (2017), donde se hace notar que uno de los principales obstáculos es la falta de formación hacia los docentes en temas como la naturaleza y la historia de la ciencia.

Asimismo, se remarca que existe una “brecha entre la promesa y la ejecución” (Matthews, 2017, p. 139), debido a un problema teórico en su planteamiento y no simplemente “práctico”, incluso cita un fragmento de Myron Atkin de 1970, en el que indica que “parece no reconocerse en forma explícita el poderoso papel de los marcos de referencia conceptuales” (Matthews, 2017, p. 139), añadiendo que se debe ser cuidadoso al tomar estas perspectivas para la enseñanza.

Aunado a esto, también se presentan malentendidos al querer implementar el aprendizaje basado en indagación (IBL, por sus siglas en inglés de *‘inquiry-based learning’*), como lo menciona una publicación realizada en 2013 por el proyecto europeo PRIMAS (*‘Promoting inquiry in mathematics and science education across Europe’*), que la indagación no consiste sólo en hacer uso de experimentos prácticos, sino que se debe tener un cierto grado de apertura (PRIMAS Project, 2013), que se ve relacionado a la toma de decisiones, aunque se esquiva la cuestión de si a una indagación más abierta deviene un mejor aprendizaje, sin considerar la relación aprendizaje-mediación (Matthews, 2017, p. 143).

Así queda más que claro el rol que cumple la formación del profesorado para la enseñanza de las ciencias y la necesidad de que “adquieran una base muy sólida de conocimientos de la historia y la filosofía de la ciencia que enseñan”, tal y como es citado James Rutherford (1964) por Matthews (2017, p. 143).

Este trabajo concuerda con las posturas de las autoras Reyes-Cárdenas y Padilla respecto a la indagación, quienes sostienen que: *“Es una postura filosófica porque presenta ideas específicas acerca de la naturaleza de los procesos de enseñanza y aprendizaje, y de la naturaleza de la investigación científica. Y es una estrategia porque provee metodologías y estructuras que son consistentes con la forma en que las personas hacen y aprenden ciencia.”* (2012, p. 420).

Por lo anterior, también se consideran importantes las ideas de Joseph J. Schwab, porque dan pie a repensar la enseñanza de la ciencia desde una postura más amplia, sin entrar directamente en lo que más tarde sería acotado como el enfoque de indagación, y permite al docente considerar el desarrollo histórico de la ciencia, así como las habilidades que se desea que desarrollen los estudiantes en las aulas de ciencia, dando pauta a tratar el siguiente tema de importancia para este trabajo, la historia de la ciencia y su función en la enseñanza.

2.3 ¿Por qué contar historias? Historia de la ciencia en el aula

“El arte de la pedagogía consiste en simplificar los temas y las narraciones históricas, de modo tal que las inevitables aproximaciones y distorsiones sean educativamente benéficas, y no perjudiciales”

-Michael R. Matthews (2017, p. 191)-

Al igual que la idea de enseñanza de la ciencia bajo un enfoque de indagación no es algo reciente, tampoco lo es la tradición que remarca la importancia de la historia de la ciencia a la par que sus contenidos, al contrario, esta concepción para la enseñanza de la ciencia tiene un poco más de tiempo.

Jenkins (1990) apunta que desde 1855, George Campbell, el VIII duque de Argyll y presidente de la *‘British Association for the Advancement of Science’* [Asociación Británica para el Progreso de la Ciencia] se refiere a la importancia de enseñar la historia de la ciencia a la juventud, más que los “meros resultados”, pues Campbell señala que, al aprender a “apreciar mejor la labor de otros”, los estudiantes estarán mejor preparados para reconocer “los hilos dorados de verdad en el medio del error” (Jenkins, 1990, p. 274).

A partir de entonces distintos autores abordan esta cuestión, como el físico Ernst Mach alrededor de los años de 1900 o el biólogo Ernst Mayr en el siglo XX (Matthews, 2017). En países como Estados Unidos de América y el Reino Unido se ha llegado a implementar la historia en los planes de estudio desde la primera mitad del siglo XX, con el reporte gubernamental británico de 1918 llamado '*Natural Science in Education*' ['Ciencias Naturales en la Educación'] y el reporte gubernamental estadounidense '*General Education in a Free Society*' ['Educación General en una Sociedad Libre'] elaborado por el influyente James B. Conant (Matthews, 2017), cuyos planteamientos fueron considerados tanto por Thomas Kuhn como por Joseph Schwab, de quien ya se habló previamente.

Actualmente, hay varios autores que defienden la inclusión de la historia de la ciencia en las aulas, uno de ellos es, Michael R. Matthews, quien expone 6 motivos y que se enuncian de manera textual en su libro 'La enseñanza de la ciencia. Un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia.' (2017, p. 156):

1. La historia promueve comprender mejor los conceptos y métodos de la ciencia.
2. Los enfoques históricos vinculan el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas científicas.
3. La historia de la ciencia es valiosa por sí misma. Todos los alumnos deberían estar familiarizados con los episodios importantes en la historia de la ciencia y la cultura.
4. La historia es necesaria para entender la naturaleza de la ciencia.
5. La historia, al examinar la vida y la época de los científicos, humaniza la ciencia como materia y la vuelve menos abstracta y más atractiva para los alumnos.
6. La historia permite establecer vínculos entre temas y disciplinas de la ciencia y otras disciplinas académicas; la historia pone en evidencia la naturaleza integradora y mutuamente dependiente de los logros humanos.

Posterior a este listado, Matthews desarrolla cada punto e incluso menciona varios estudios pedagógicos hechos para distintas disciplinas de la ciencia y aborda un caso de estudio para ejemplificar cada punto.

No obstante, también menciona las críticas que se han realizado a la inclusión de la historia en los programas de ciencia, a las que responde con sendas contraofensivas, de una manera muy similar a lo que hace Olimpia Lombardi (1997).

El primer opositor es Martin Klein, que de manera breve sostiene que la “introducción de la historia en la enseñanza de las ciencias sólo tiene la posibilidad de hacer uso de una historia simplificada y recortada, esto es, una mala historia” (Lombardi O. I., 1997, p. 344), por lo que es mejor prescindir de ella. El segundo gran opositor es M. A. B. Whitaker, quien propone el manejo de una ‘casi historia’, pues sostiene que la historia se recrea según los fines pedagógicos o para apoyar concepciones epistemológicas, reescribiendo los hechos para acoplarlos a los contenidos de la ciencia (Lombardi O. I., 1997).

En respuesta, tanto Lombardi como Matthews dejan claro que la cuestión de la selectividad no es un obstáculo, ya que todo relato histórico así lo requiere, y está sujeto a la interpretación de cada autor. De igual manera, el problema de la interpretación se discute y se resuelve por ambos, remarcando la importancia de que mantener la imparcialidad en un relato es imposible, puesto que la construcción de una narrativa refleja las posturas de cada autor, sin embargo, debe permanecer al margen del adoctrinamiento, mostrando diversas posturas ante un mismo hecho con el propósito de sostener el panorama abierto para los alumnos.

Por otro lado, para impulsar la enseñanza de la ciencia, además de la historia de la ciencia se recomienda considerar aspectos de la filosofía de la ciencia (cuestión que no profundizaremos en este trabajo), tan sólo en el título del trabajo coordinado por Matthews (2014), *‘International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching’* [‘Handbook Internacional de Investigación en Historia, Filosofía y Enseñanza de la Ciencia’] los términos ‘historia’ y ‘filosofía’ aparecen juntos, en una obra que recopila trabajos de numerosos investigadores como Mansoor Niaz, Keith Taber, William McComas, Irene Arriaseccq y los autores de otros casi 80 capítulos.

No obstante, de manera aún más general suele relacionarse a los aspectos de la historia y la filosofía de la ciencia con la naturaleza de la ciencia. La naturaleza de la ciencia es un concepto investigado y discutido entre la comunidad que se dedica a la investigación de la

enseñanza, uno de los grupos más populares es el de Norman Lederman del ‘*Chicago Institute of Technology*’, quienes han propuesto una lista de elementos que consideran inherentes al conocimiento científico, como lo son: la base en evidencia empírica del conocimiento científico; la interpretación de la evidencia empírica a partir de la teoría; el carácter subjetivo debido a los valores, conocimiento y experiencias de los científicos; el conocimiento científico como producto de la imaginación y creatividad humanas; y la influencia social y cultural que direccionan las investigaciones y los productos de la ciencia (Schwartz y Lederman, 2008, p. 728).

Estos aspectos, considerados por el grupo de Lederman, son discutidos por Matthews (2017), partiendo de la crítica que se hace al concepto de “naturaleza de la ciencia” principalmente porque incluye el término “naturaleza”, pues argumenta que es difícil intentar definir lo que es “natural” para la ciencia, y opta finalmente por proponer el uso de “características de la ciencia” con el fin de tener mayor flexibilidad al considerar los aspectos que puede incluir; aumentando así la lista con las siguientes características: la importancia de la experimentación; la idealización de los sistemas que se estudian; el uso de los modelos en la ciencia; y la relación estrecha con la tecnología, entre otras.

Con el breve bosquejo conceptual proporcionado, podemos encontrar puntos de encuentro entre el enfoque de indagación y los elementos que brinda la naturaleza de la ciencia. Pareciera que, mientras el primero centra sus esfuerzos en la enseñanza de y sobre la ciencia a partir de los procedimientos internos con que ésta se desarrolla, la naturaleza de la ciencia busca más bien conocer acerca de dichos procedimientos además de contextualizar a la ciencia como actividad humana.

En este sentido, la secuencia didáctica cumple con ambos requisitos, a la vez que pretende mostrar el desarrollo que tuvo la tabla periódica a partir de varios investigadores, lo que enfatiza el hecho de que los descubrimientos científicos no son producto de una sola mente ingeniosa y que incluso pueden darse de manera simultánea, también se centra en los esfuerzos individuales de cada uno para adentrarse en sus ideas por separado, dónde se consideró más a la experimentación, quién le concedió más peso a los criterios numéricos, o quiénes hicieron predicciones a partir de su modelo.

2.4 Desarrollo de habilidades de pensamiento científico en la enseñanza

Hay una numerosa cantidad de trabajos que teorizan acerca de las ventajas de considerar aspectos de la naturaleza de la ciencia (en su acepción más amplia) en las aulas, así como enseñar bajo el enfoque de indagación (Flick y Lederman, 2006; McComas, 2020). Por el contrario, las investigaciones que abordan el carácter práctico y operativo de estos conceptos en los salones de clase, así como la evaluación de los mismos son más reducidos. Por un lado, se pueden encontrar trabajos que van sobre las concepciones y nociones que profesoras y profesores tienen sobre la naturaleza de la ciencia como el trabajo de Nott y Wellington (2002), aunque esto no refleja nada de su forma de enseñar (Lederman et al., 2014) ni del dominio disciplinar que tienen. Y, por otro lado, hay artículos que toman el problema de frente, ¿cómo dar ese paso en la enseñanza de la ciencia, aplicarlo en el aula, y evaluar sus resultados? Douglas Allchin (2020) hace un pequeño recuento de trabajos que exponen sus propuestas para incluir a la historia de la ciencia y a la indagación en la enseñanza en distintas áreas de la biología, física, química y geología.

Para operacionalizar la enseñanza de la indagación y aspectos de la naturaleza de la ciencia, se propone su alcance a través del desarrollo de habilidades de pensamiento científico. Zimmerman menciona que el pensamiento científico (*‘Scientific thinking’*) se define como “la aplicación de los métodos o principios de la indagación científica tanto para razonar como para la resolución de problemas, e involucra las habilidades implicadas en generar, probar y revisar teorías, y en el caso de habilidades totalmente desarrolladas, para reflexionar sobre el proceso de adquisición y el cambio del conocimiento” (2007, p. 173).

Por otro lado, podemos encontrar definiciones que provienen desde la teoría cognitiva del aprendizaje como la que cita Lavín Arteaga de Sánchez: “Las habilidades cognitivas son aquellas que les permiten a los estudiantes aplicar el conocimiento conceptual, procedimental y actitudinal, en diferentes contextos, que pueden referirse a la evaluación directa del proceso de enseñanza y aprendizaje o a la evaluación y mejora de lo que se piensa y se hace” (2014, p. 68).

En este trabajo se centró en cinco habilidades de pensamiento científico para que sean desarrolladas en el aula: la capacidad para argumentar; el pensamiento químico; el reconocimiento de la importancia que tienen los modelos en la ciencia, así como aprender a darles uso; la capacidad para diseñar procedimientos experimentales enfocados a responder preguntas de investigación; y el pensamiento matemático.

2.4.1 Argumentación

Es necesario discutir la importancia de desarrollar la habilidad para argumentar de manera lógica en los estudiantes, pues la toma de decisiones y mucho de su función como ciudadanos en una sociedad libre requiere de este tipo de competencias (Matthews, 2017, pp. 231-239; Lederman et al., 2014).

Montaño y Padilla (2020, p. 55) resaltan seis ventajas, a partir de distintos autores, de ejercitar la argumentación en el aula:

1. Mejora la capacidad para comunicar ideas orales y escritas.
2. Fomenta el trabajo en equipo.
3. Permite desafiar la validez de las ideas de los demás.
4. Fomenta la construcción interna de ideas, a partir de reflexiones personales y la externalización de estas.
5. Permite a los alumnos el cuestionamiento de constructos sociales.
6. Permite aceptar reglas sociales y científicas, y conjuntarlas para la mejor comprensión de un fenómeno.

Para las actividades estudiadas en este trabajo, se utiliza el patrón de argumentación de Toulmin como el que aparece en el artículo de Montaño y Padilla (2020) y que se muestra en la Ilustración 6. De acuerdo con Matthews (2017, p. 233), este tipo de ejercicios de “estructura de argumentos” fomentan el pensamiento lógico a través de la escritura clara. El diagrama posee cinco categorías, la conclusión (C) es el enunciado que se quiere defender, esa defensa se tiene que dar a partir de la evidencia que nos brindan los datos (D). A su vez, la garantía (G) es el conocimiento previo que permite la conexión entre la evidencia y la conclusión, mismo que debe estar respaldado (R) en teorías. Por último, esta estructura

solicita que se indiquen las condiciones bajo las cuales se invalida la conclusión a través de un contraargumento (CA) o refutación, y que permiten a la par, marcar los límites del argumento (Montaño Hilario y Padilla Martínez, 2020; Rodríguez Bello, 2004).

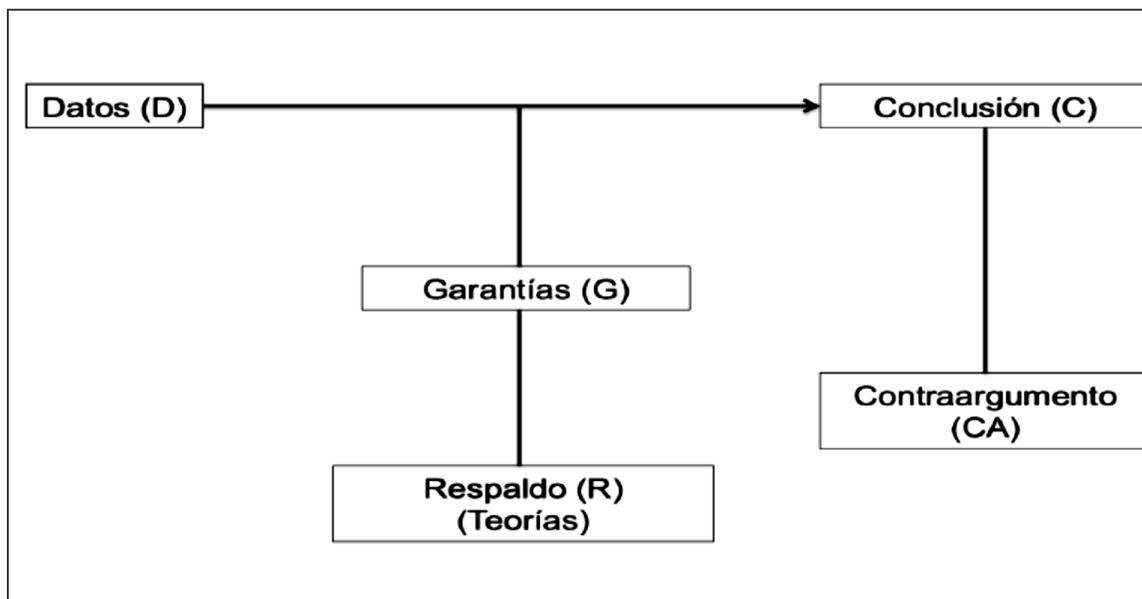


Ilustración 6. “Patrón de Argumentación de Toulmin”. Imagen tomada de Montaño y Padilla (2020, p. 56).

2.4.2 Pensamiento químico

Es un concepto defendido y trabajado de manera amplia por Talanquer (2021). Como indican Weinrich y Talanquer (2015, p. 563) al citar el trabajo de Sevan y Talanquer del 2014, el pensamiento químico es el resultado de integrar el conocimiento químico y sus prácticas, con la intención de analizar, sintetizar y transformar la materia, que además, permita construir explicaciones y generar predicciones, así como facilitar la toma de decisiones en contextos relevantes. Estos autores proponen seis conceptos transversales sobre los que se desarrolla este tipo de razonamiento y que dan respuestas a preguntas esenciales para la química (Weinrich y Talanquer, 2015, p. 563):

1. Identidad química: ¿Cómo se identifican las sustancias?
2. Relación estructura-propiedades: ¿Cómo se predicen las propiedades de las sustancias?

3. Causalidad: ¿Por qué ocurren los procesos químicos?
4. Mecanismo químico: ¿Cómo ocurre un proceso químico?
5. Control químico: ¿Cómo se controla un proceso químico?
6. Beneficio-costo-riesgo: ¿Cómo se evalúa el impacto de un proceso químico?

Por otro lado, en un trabajo más reciente, Talanquer (2021) retoma la idea de que parte de la dificultad que caracteriza a la química es que se requiere conectar experiencias macroscópicas realizadas con sustancias reales, con los modelos microscópicos sobre su composición y estructura. Sumado a esto, dicha conexión es mediada por representaciones icónicas o simbólicas, que requieren ser interpretadas correctamente. No obstante, continúa Talanquer, la dificultad también radica en que los razonamientos son diversos, y pueden usarse para crear sentido, explicar, justificar o argumentar sobre las propiedades y comportamientos de las sustancias químicas y sus fenómenos.

El autor expone que los razonamientos se dan con variaciones de: granularidad (refiere al tamaño del sistema); dimensión del fenómeno en que subyacen los razonamientos (como la materia, fuerza, o energía); marco referencial (guía la construcción del razonamiento); fundamento (puede darse con base en reglas, casos o modelos); modo del razonamiento (si es causal o no causal); y el enfoque de acuerdo a los factores que se consideran para el razonamiento (energéticos/entrópicos, termodinámicos/cinéticos, electrónicos/estéricos).

En cuanto a los conceptos que mencionan Weinrich y Talanquer, los dos primeros, “Identidad química” y la “Relación estructura-propiedades” son de especial interés para este trabajo como parte del pensamiento químico que se analizará en las respuestas de los estudiantes, sobre todo en las actividades correspondientes a Odling y a Mendeléiev.

2.4.3 Uso de modelos en la ciencia

Es imposible intentar abarcar de manera amplia el tema de los modelos en este trabajo, por lo que se limitará a dar un bosquejo sobre algunas ideas clave para acercarse a este concepto, también consideradas útiles al propósito de la presente tesis, además, de señalar cómo se relacionan los modelos con la tabla periódica.

Phil Seok Oh y Sung Jin Oh (2011) presentan un breve resumen en su artículo sobre los variados significados que puede tener el término “modelo”, así como la definición que puede adquirir el concepto según el autor. Afirman que en la comunidad científica se considera central el uso de modelos para realizar investigación, aunque el significado puede cambiar con cada persona. Pese a las diferencias, los autores identifican dos ideas generalizadas: que los modelos son entendidos como representaciones de un objeto de estudio, este último pudiendo referir a objetos, fenómenos, procesos o sistemas; y que los modelos también pueden conectar las teorías con los fenómenos.

Chamizo define a los modelos de la siguiente manera (2013, p. 1618): “Los modelos (m) son representaciones, usualmente basados en analogías, los cuales son construidos contextualizando ciertas porciones del mundo (M), con un objetivo específico”⁷. En este enunciado se encuentran las dos ideas identificadas por Phil Oh y Sung Oh, de forma adicional, le confiere un papel importante al uso de la analogía, ya que a través de ella se reconocen las características o propiedades que comparten (m) y (M). Chamizo profundiza en la explicación de su definición y después hace una distinción entre dos tipos de modelos, los mentales y los materiales. Menciona que los modelos mentales son representaciones reflejadas por nosotros mismos para dar explicaciones o hacer predicciones sobre algún suceso. Por su parte, los modelos materiales son aquellos a los que tenemos acceso empírico y se hacen con el fin de comunicar, y a su vez, estos últimos los divide en: simbólicos, experimentales e icónicos.

⁷ Traducción propia, la definición original del artículo en inglés se lee: ‘*Models (m) are representations, usually based on analogies, which are built contextualizing certain portion of the world (M), with a specific goal*’.

De acuerdo con Tuzón y Solbes, citados en el trabajo de Reyes Cárdenas et al (2021, p. 106), el modelo se vuelve aún más necesario “cuando se da la imposibilidad de ver directamente el objeto de estudio”. Los autores del artículo consideran que los modelos capturan de manera simplificada los elementos centrales de una realidad compleja, pasan por alto los detalles para facilitar la comprensión de un sistema y permiten estudiar su comportamiento (Reyes Cárdenas et al., 2021, p. 106).

En este contexto, el sistema periódico puede considerarse un modelo a través del cual se representan ciertas relaciones que existen entre los elementos químicos. El estudio del “sistema periódico” desde una concepción semántica es expuesto y desarrollado por Yefrin Ariza en un artículo publicado de manera reciente, donde menciona que, “la semejanza del modelo [el sistema periódico] con la realidad se hace explícita mediante actos lingüísticos del tipo: “*tal elemento se comporta de acuerdo al sistema periódico en tales aspectos con tales grados de similitud*”.” (Ariza, 2022, p. 103).

En este trabajo se propone que, al partir de la ley periódica como el fenómeno de interés, cada propuesta para clasificar a los elementos se puede identificar como un modelo. Por ejemplo, la tabla expuesta por Newlands (Ilustración 1), utiliza la octava musical como análoga al sistema periódico para representar la ley periódica a través de un conjunto de elementos “representativos”, con el fin de simplificar el modelo y permitir así, el estudio de la periodicidad.

Para finalizar, es importante aclarar que el uso de modelos tiene implicaciones epistemológicas que requieren ser reconocidas, cuando menos, por quien los va a enseñar (Matthews, 2017). Según Lombardi (2007), adoptar la noción de modelo para la enseñanza de la ciencia no implica renunciar a una visión realista sobre la ciencia, sino que puede pensarse que el acercamiento de la realidad depende de la complejidad de cada modelo. Por otra parte, permite comprender la construcción del conocimiento científico como un proceso diverso, alejado de la concepción de que es lineal y acumulativo (Lombardi O. , 2007, p. 13). Esto es, los modelos en la ciencia son múltiples, cumplen con propósitos específicos, y al igual que el conocimiento científico, están sujetos al cambio (Oh y Oh, 2011).

2.4.4 Pensamiento matemático y matematización

El estudio del pensamiento matemático es extenso y la delimitación sobre lo que es, así como lo que implica ha sido discutido por autores especializados en la educación de las matemáticas, como en el artículo de Penagos, Mariño y Hernández (2017), que invita a reflexionar acerca de lo que significa el pensamiento matemático, sobre cómo, de manera análoga a la ciencia, se ha querido incorporar a los planes de estudio desde los niveles de enseñanza básicos. Su relevancia es tal que, por ejemplo, en Estados Unidos, en equivalencia al ‘*National Council of Research*’ y su papel para la enseñanza de la ciencia, se tiene el ‘*National Council of Teachers of Mathematics*’ [Consejo Nacional de Profesores de Matemáticas].

Así como la enseñanza de la ciencia se aborda desde perspectivas históricas, filosóficas, sociológicas, etc., por su parte, la enseñanza de las matemáticas actualmente tiene una influencia profunda de la psicología y las neurociencias. Alonso y Fuentes (2001) exponen esto último con claridad y analizan la “capacidad para pensar sobre el mundo en términos numéricos”, desde un enfoque neuropsicológico.

Los estudios sugieren que, para la comprensión del significado numérico, el cerebro maneja los números como si fueran cantidades pertenecientes a magnitudes físicas, como la longitud o el peso, así, “el número emergería naturalmente como la más abstracta representación de objetos en el espacio”, como lo indican Alonso y Fuentes (2001, p. 570).

El trabajo de Penagos, Mariño y Hernández (2017), nos mencionan que el pensamiento matemático se clasifica de forma tentativa en elemental y avanzado. Y aunque autores como Dreyfus (2002) indican que la línea que separa a estos dos no es muy clara, el pensamiento elemental se relaciona principalmente con los números y su asignación con la cantidad, y que al pensamiento avanzado lo caracterizan más los procesos de abstracción y de representación. A partir de ello, se puede visualizar la relación que existe entre el pensamiento matemático y el uso de los modelos, que se da a través del proceso de matematización.

Como puntualiza Lesh (1997) a partir de un artículo de Castro, Rico y Romero (1997), hacer matemáticas no es sólo manipular símbolos matemáticos, sino que implica interpretar situaciones en términos matemáticos, esto es, matematizar sistemas con estructuras numéricas, lo que requiere uso de lenguaje especializado, símbolos, gráficos, modelos concretos y otras formas de representación para describir, explicar o predecir en torno a esos sistemas. Es posible proponer que la matematización se da a través de otorgar significados y marcos de referencia que contextualizan la información abstraída desde las estructuras numéricas, y de esta manera, facilitan su comprensión.

Esto se relaciona con la primera actividad correspondiente a Döbereiner, donde los estudiantes deben obtener una expresión que relacione los valores numéricos de las masas atómicas de los elementos que conforman una tríada y enunciarla de manera comprensible. Este enunciado puede ser pensado como una representación del hecho (fenómeno) conocido como las “tríadas de Döbereiner”.

2.4.5 Diseño de experimentos

La experimentación tiene un rol importante en el desarrollo del conocimiento científico, por lo que es importante tenerla en cuenta para la enseñanza de la ciencia (Matthews, 2017). Sin embargo, en este trabajo se hace la distinción entre experimentación y el diseño experimental. Al igual que la historia o la indagación en la enseñanza de la ciencia, la consideración de la experimentación como parte de los planes curriculares ha sido discutida desde el siglo XIX, como lo expone Hodson (1993) a través de los trabajos de otros autores. Reforzando esto, Gallego, Pérez y Figueroa (2010) señalan que Friedrich Stromeyer fue el primer químico que introdujo en 1805 la enseñanza práctica en el laboratorio.

Shana y Abulibdeh (2020), realizaron un recuento breve de puntos a favor y en contra de las actividades prácticas y en el laboratorio. Según su artículo, el trabajo práctico se defiende porque promueve el desarrollo de actitudes, el aprendizaje efectivo, ayuda a mejorar las habilidades de comunicación, la capacidad de resolución de problemas e incrementa el interés hacia la ciencia. A su vez, indican que estas actividades dentro del laboratorio ayudan a entender el papel que tienen en la ciencia, actividades como, probar hipótesis a través de

modelos, la observación y la presentación de datos. De manera general, permiten comprender mejor el proceso de la construcción del conocimiento ‘haciendo ciencia’.

No obstante, Hodson (1993) toma una postura más crítica ante el trabajo práctico, recordando que no todas las actividades dentro de un laboratorio pueden ser aprovechadas, pues de nada sirve seguir instrucciones en las que no se usa la creatividad ni el pensamiento cognitivo⁸ para procesar la información (Hodson, 1990, en Sshana & Abulibdeh, 2020, pág. 200). Dicho esto, se hace más comprensible la distinción entre una mera “experimentación” y el “diseño de experimentos”, siendo en este último donde los alumnos deben estar conscientes de responder una pregunta planteada a partir de un problema que dirija su investigación (o indagación), en lugar de limitarse a seguir los pasos de una “práctica de laboratorio”.

Además, cabe mencionar que el trabajo experimental es guiado de manera que los alumnos tengan presentes los aspectos metodológicos, sin limitarlos en los procedimientos a excepción de la disponibilidad de materiales e instrumentos de laboratorio. Esta idea es congruente con lo expuesto sobre la indagación, ya que el rol de la o el profesor es el de facilitar información y darle un seguimiento a cada equipo de trabajo para que culminen sendas investigaciones de manera adecuada.

También es importante tener en cuenta que la capacidad de diseñar experimentos más que una habilidad de pensamiento científico en sí misma, integra y complementa un conjunto de habilidades a través de actividades prácticas, ya que está fuertemente relacionada con el pensamiento químico a través de los fenómenos, con el pensamiento matemático cuando se obtienen datos numéricos, implica usar o crear representaciones del fenómeno que se estudia (modelos), y estimula la capacidad para argumentar, mostrándose como una “característica de la ciencia”, en palabras de Matthews (2017), de gran peso para la enseñanza de la ciencia.

⁸ Traducción de ‘*cognitive thinking*’.

2.5 Enfoques alternativos para la enseñanza de la tabla periódica y propiedades periódicas.

Es posible hablar de un primer nivel de clasificación de los elementos: metales, no metales y metaloides (Kelter et al., 2009). Esta clasificación es común encontrarla en la tabla periódica, y suele hacerse la distinción basada principalmente en la apariencia física, conducción eléctrica y estado de agregación, aunque la categoría de metaloide puede ser ambigua y se especifican cuáles son estos elementos. Esta manera de clasificar a los elementos tiene su origen en la teoría electroquímica de Berzelius (Bargalló, 1962) y no evidencia el fenómeno de periodicidad, como sí lo hacen los sistemas de clasificación posteriores.

Un concepto clave para entender gran parte de estos sistemas de clasificación es el de valencia, el cual tiene un desarrollo aparte, un concepto con historia propia, pero del cual se puede decir que fue Edward Frankland, en 1852, quien lo menciona por primera vez, refiriéndose a la “capacidad de combinación” de cada elemento (Gallego Badillo et al., 2004). La valencia también es una propiedad química vital para comprender el desarrollo de la tabla periódica y la elucidación de la periodicidad, pues a partir de este concepto surgen, por ejemplo, los “grupos naturales” de W. Odling, mejor conocidos como familias. Al ordenar de forma ascendente los elementos de acuerdo con su masa atómica, e ir agrupando dichas familias en columnas, aparecen inevitablemente los periodos, los renglones a través de los cuales cambian gradualmente las propiedades, y cuyos ciclos varían en tamaño, lo que provoca cierta irregularidad en la periodicidad, muy diferente a los ciclos estables y regulares del modelo de onda, o de la idea que se tiene del periodo de traslación de nuestro planeta.

Hoy en día se conocen más de 100 elementos químicos, cada uno con propiedades físicas y químicas distintas, sin embargo, el hecho de que posean cierta regularidad con tendencias más o menos marcadas, permite que puedan ser organizados de manera que estas generalidades queden representadas a través del orden “simple” de renglones y columnas. Retomando lo que se mencionó en el apartado sobre el uso de modelos en la ciencia, la tabla periódica se puede considerar un modelo en tanto que representa el fenómeno de la periodicidad. En este sentido, la tabla periódica cumple un papel fundamental para los cursos de química, puesto que reúne información importante de cada elemento. Desde predecir el

comportamiento macroscópico de los elementos en el laboratorio, hasta conocer detalles de su estructura atómica, son cosas que se pueden realizar a partir de este modelo central para la química.

Actualmente, resulta difícil encontrar un libro de texto que prescindiera de la estructura atómica y las configuraciones electrónicas para poder presentar el tema de tabla periódica de manera extensa. Con el surgimiento de la mecánica cuántica, aparecieron explicaciones teóricas para el comportamiento periódico de algunas propiedades, tales como la energía de ionización, la afinidad electrónica y el radio atómico (Agudejo Carvajal, 2015). Esto afianzó el reconocimiento de la periodicidad entre los elementos, pero implicó que se afirmara que el sistema periódico puede ser reducido a la mecánica cuántica, en otras palabras, reducir la química a la física (Scerri, 2019).

Sin embargo, la tabla periódica y sus ideas principales se desarrollaron bastantes años antes que la física moderna, incluso, antes del descubrimiento del electrón (Sánchez Ron, 1997). Si se recuerdan los aspectos históricos que se trataron previamente, podrán encontrarse conceptos como: familia, periodo, reactividad y valencia. En ningún momento, desde Döbereiner hasta Mendeléiev, hubo necesidad de recurrir a la estructura interna de los átomos, sino sólo a la evidencia empírica con que disponían los químicos del siglo XIX.

Ya desde la década de los sesenta, Schwab (1966) critica la forma en la que los libros de texto de ciencia presentan los contenidos y la estructura que toma su discurso, lo que él denominó ‘retórica de conclusiones’. Niaz (2005) sigue esta misma línea, abre la discusión en torno a los libros de texto de química y menciona que poco se ha hecho por incluir aspectos de la filosofía y la historia de la ciencia. Asimismo, Camacho González, Gallego Badillo y Pérez Miranda (2007) se enfocan exclusivamente al tema de la “Ley periódica” y hacen un análisis de doce textos de enseñanza, basados en criterios históricos y epistemológicos, encontrando que aún impera una visión positivista de la ciencia, y además, el contenido histórico que se llega a presentar es a manera de dato y no con el propósito de abrir un punto de debate. Por su parte, Ben Zvi y Genut (1998) mencionan que la tabla periódica usualmente se presenta como una herramienta inductiva en la enseñanza de la química, especialmente en los libros de texto, lo que no permite explorar los límites asociados a la inducción (filosofía

de la ciencia). Así, cobran importancia las propuestas didácticas que engloban a la tabla periódica con enfoques distintos a los tradicionales, para enseñar aquello que la ‘retórica de conclusiones’ invisibiliza.⁹

Para la presente tesis, se hizo una búsqueda de algunos trabajos en los que se proponen maneras no tradicionales para la enseñanza de la tabla periódica y las propiedades periódicas, de los cuáles, algunos se presentan en la Tabla 1. Este trabajo no pretende agotar la bibliografía al respecto, sino que sólo se limita a dar un breve bosquejo del panorama sobre el tipo de propuestas didácticas para la enseñanza de la tabla periódica que se pueden encontrar en este momento.

Hay artículos que no aparecen en la Tabla 1, pero que abordan la tabla periódica con otros propósitos, como el trabajo de Sevcik, McGinty y Schultz (2008), quienes la relacionan con la biología a través de un juego de cartas, donde clasifican a los elementos de acuerdo con su requerimiento para los organismos vivos, su toxicidad o su inocuidad. También está el artículo de Struyf (2009), en el que se relacionan los grupos funcionales con la tabla periódica, para presentarlos de una manera sistemática en favor de la enseñanza en la química orgánica. Otro caso es el artículo de Woelk (2009), que se centra en la mera memorización de algunos símbolos de los elementos de la tabla periódica, basado en las abreviaturas de nombres de estados estadounidenses con fines mnemotécnicos.

Por otro lado, existen un sinnúmero de representaciones de la tabla periódica. Desde los primeros intentos por demostrar la existencia de cierta semejanza entre los elementos se pueden observar figuras que distan de la forma larga de la tabla periódica, como el sistema cilíndrico propuesto por Chancourtois (van Spronsen, 1969). Sin embargo, después de los trabajos de Mendeléiev y conforme la comunidad científica aceptó la periodicidad que poseen las propiedades de los elementos, se explotaron las más variadas formas para

⁹ En su tesis doctoral, Agudejo Carvajal (2015) realiza un estudio profundo sobre la función de la tabla periódica en la enseñanza de la química a partir de tres focos de análisis: artículos en revistas especializadas en didáctica; libros de texto; y la práctica docente.

representar dicha periodicidad, dando como resultado “múltiples tablas periódicas”, y estas propuestas no paran, como el artículo de Winter (2011), que toma los “cartogramas de difusión” desde la geografía, para hacer modificaciones sobre la forma larga de la tabla periódica que varían de acuerdo a la propiedad que se desea representar.

También son de interés ciertas posturas que mantienen algunos autores respecto a la forma de enseñar la tabla periódica, y que serán consideradas para los análisis posteriores de la propuesta didáctica que es nuestro objeto de estudio. Por ejemplo, Criswell (2007) critica la práctica común de hacer que los estudiantes “sean Mendeléiev por un día” a través de una actividad única con cartas correspondientes a los elementos químicos, esperando que los alumnos las organicen de alguna manera lógica, ya que, menciona, generalmente se realiza sin la profundización en otros aspectos conceptuales de la tabla periódica, dando resultados poco satisfactorios. A su vez, Schultz (2005) tiene ideas que pueden considerarse para dirigir de mejor manera la actividad correspondiente a Odling, apuntando preguntas del tipo: ¿Cuál sería la fórmula del óxido con más oxígenos para cada elemento en la tabla?¹⁰. Otro hecho a considerar es la omisión en primera instancia de los metales de la familia VIII B, dejándolos para después de que se reconoce el patrón que siguen las fórmulas de los óxidos.

Aunado a esto, en el trabajo de Schmidt, Baumgärtner y Eybe (2003), se realizó un estudio cualitativo con estudiantes alemanes de secundaria, con el propósito de encontrar concepciones alternativas asociadas a la integración de los conceptos de isotopía y alotropía al estudio de la tabla periódica. Así, marcan la importancia de identificar los límites que tiene la tabla periódica como modelo para poder predecir la diferencia entre los alótropos. Además, de recalcar el hecho de que las masas atómicas relativas de los elementos corresponden al promedio ponderado de las masas atómicas de los isótopos existentes. Esto último nos da mayor sustento para la modificación de la actividad donde se habla de William Prout y relacionarla directamente con el tema de isotopía.

¹⁰ En el artículo se lee: ‘*What would be the formula of the highest oxide of each of the elements in the table?*’ (p. 1650)

Tabla 1. Artículos que incluyen propuestas para la enseñanza de la tabla periódica.

Autor	Sobre la propuesta	Sobre el desarrollo
Ben Zvi & Genut, 1998	Actividades enfocadas en mostrar los alcances y las limitaciones de la tabla periódica como modelo científico, interconectando la historia y la filosofía de la ciencia.	<p>Para 8° grado se realizaron 6 actividades, las primeras tres son para que se familiaricen con criterios para clasificar información y en las siguientes tres se parte de la tabla de Mendeléiev para abrir la discusión sobre la incorporación de nuevos elementos y las predicciones que pueden hacerse sobre las propiedades de los elementos a partir de la tabla periódica.</p> <p>Para el 10° grado se realizaron 8 actividades, todas se centran en aspectos de la tabla de Mendeléiev, pero hacen mayor énfasis en la historia y filosofía de la ciencia.</p> <p>El estudio se realizó en grupos de prueba y sus posturas se contrastaron con las de grupos control, a los que se les presentó el tema de manera tradicional.</p>
Criswell, 2007	Parte de la idea de aprendizaje cíclico, a través del modelo de cuatro etapas: FERA (<i>focus, explore, reflect, apply</i>) ¹¹ .	<i>Focus:</i> Consiste en dos actividades separadas, una fuera de clase, en la que se revisa material con algunos artículos sobre el origen de los elementos químicos y sitios web que muestran la variedad de las representaciones de tablas periódicas, y sitios web sobre la historia de los elementos y la tabla periódica. En la segunda actividad que se hace durante la clase, pensada para 20 minutos, se da a los estudiantes 30 círculos de papel que varían en color, tamaño, y número de muescas y “dientes”, y se solicita que los organicen con base en estos parámetros.

¹¹ “Enfocar, explorar, reflexionar, aplicar”.

Explore: Esta fase está considerada para dos clases. Se le brindan muestras de 15 elementos en frascos que los estudiantes deben organizar según criterios lógicos. Se les ofrece información sobre seguridad para el manejo de estos, y fuentes bibliográficas para que se investigue información adicional sobre las muestras.

Reflect: Fase centrada en la o el docente, quien retoma los resultados de las actividades anteriores y los relaciona con una discusión sobre la historia del desarrollo de la tabla periódica. Termina con la introducción de Mendeléiev y la comparación con las clasificaciones de los estudiantes de la primera fase, como preámbulo para la fase de aplicación.

Apply: Consiste en una actividad de una clase. Se les otorga a los estudiantes un sobre con 24 tarjetas de papel con el nombre y símbolo del elemento, y tiene información sobre el número de átomos de Cloro y Oxígeno presentes de los cloruros y los óxidos de cada elemento. Estas tarjetas deben ser organizadas y el producto final se dibuja para entregarlo al profesor, quien las compila en miniaturas para su discusión posterior.

Cierre del ciclo: En esta última clase, se le entrega una copia con las miniaturas de las propuestas hechas en la fase anterior y se comparan con una de las propuestas de Mendeléiev para afianzar los criterios organizadores de los elementos. A partir de este punto se continua con la presentación de la tabla periódica moderna.

Demircioğlu,
Demircioğlu,
& Çalik,
2009

Está basada en el uso relatos para contextualizar los conocimientos disciplinares.

Para este estudio se compararon dos grupos, uno experimental de 41 estudiantes de 9° grado, al que se le presenta el material preparado por los autores, y otro grupo

<p>Los relatos los toman de la obra de Vlasov y Trifonov: <i>107 stories about chemistry</i>.</p>	<p>control con 39 estudiantes de 9° grado, al que se le presenta el tema de tabla periódica de manera tradicional.</p> <p>La actividad diseñada está planeada para hacerse en 6 sesiones de 45 minutos, cada dos clases corresponden a una lección relacionada con un relato. Además, durante las clases se presentan a los estudiantes: imágenes, crucigramas, trabajo de laboratorio, actividades de relacionar columnas, y se les pide un documento escrito final a los estudiantes).</p> <p>El primer relato se enfoca en aspectos históricos de la tabla periódica, en especial se habla sobre Mendeléiev. El segundo relato está orientado a identificar grupos y periodos en la tabla periódica. El tercero se refiere a la forma en que los elementos se “combinan”, y de cómo esto puede guiarnos para clasificarlos.</p> <p>Este artículo investiga sobre los efectos que tiene incluir relatos para contextualizar los conceptos a enseñar, resultando en una mayor efectividad para retener el aprendizaje en la memoria a largo plazo.</p>
<p>Diener & Moore, 2011</p>	<p>Se propone el uso de una tabla periódica de un sitio web [<i>Periodic Table Live!</i>] para incentivar el desarrollo de habilidades de pensamiento en los estudiantes.</p> <p>Los autores proponen siete hojas de trabajo que pueden ser respondidas con la tabla periódica de un sitio web, que cuenta con información contextual de los elementos, e información técnica, además de imágenes y videos. Las hojas de trabajo son para que los estudiantes exploren la información contenida en el sitio web, y también para que se construyan gráficas de algunas propiedades periódicas que permitan la discusión del tema.</p>

Farrer, Monk, Heron, Lough, & Sadler, 2010	Es un taller interactivo basado en los principios del aprendizaje de espacio abierto (<i>'open-space learning'</i>), haciendo uso del cuerpo y la mente de manera simultánea.	<p>El taller se realizó con estudiantes de primer año de licenciatura, la actividad se desarrolla en una sesión de cerca de 85 minutos, con el requerimiento de una investigación previa. Para el taller teatral intervino un facilitador.</p> <p>Primero se le asignó un elemento a cada estudiante, y se les pidió escribir un ensayo de dos páginas con información sobre el elemento, y que fueran conformándose una idea de la personalidad que podría tener el elemento que les tocó.</p> <p>El taller se realizó en un espacio para ensayos teatrales. En este se realiza la caracterización de cada alumno sobre su elemento y se realizan más actividad en torno al tema de la tabla periódica.</p>
Franco Mariscal, Oliva Martínez, & Bernal Márquez, 2012	Es un juego de cartas para estudiantes de preparatoria, cuyo propósito es el reconocimiento de los grupos de la tabla periódica. Además de ayudar a reconocer símbolos y compuestos típicos de cada elemento.	<p>Consiste en un juego de 43 cartas con los elementos y 1 comodín, para 4 jugadores, de partidas entre 15 y 20 minutos. Las cartas son elaboradas por los estudiantes, y deben tener el nombre del elemento, símbolo y un objeto relacionado, además, cada familia tiene un color diferente.</p> <p>Para evaluar su desempeño, se realizó un cuestionario para comparar esta actividad respecto a otras que se aplicaron en otros grupos, siendo la que obtuvo mejor resultado, Sin embargo, cabe mencionar que la principal justificación de esta actividad es mnemotécnica, ante la pregunta ¿a qué familia pertenece tal elemento?</p>
Joag, 2014	Es una introducción al tema de la tabla periódica a través una actividad tipo	La actividad está pensada para estudiantes de secundaria de entre 12 y 13 años. Antes de presentar la actividad central, se realiza un test para mapear los conocimientos

<p>crucigrama, con la finalidad de afianzar el material revisado previamente. Además, la efectividad es evaluada en un breve estudio comparativo.</p>	<p>previos de los alumnos, lo cual servirá para dirigir la siguiente clase y consolidar dichos conocimientos. Después, la actividad del crucigrama se realiza sobre una tabla periódica “vacía”, auxiliada con una enumeración, y se brindan 18 pistas a los estudiantes, las cuales contiene información para llenar los espacios de 32 elementos. Además, se proporcionan a los estudiantes 4 reglas respecto al comportamiento periódica para poder completar la actividad.</p> <p>En este trabajo se comparó el grupo de prueba, con el que se ejecutó la propuesta, y un grupo control al que se le mostró el tema de manera convencional. Al finalizar se hizo un cuestionario para comparar la comprensión del tema por parte de los estudiantes, y el grupo de prueba obtuvo mejores resultados de manera significativa frente al grupo control.</p>
<p>McKinney & Michalovic, 2004</p>	<p>Actividad enfocada en introducir la historia de la ciencia, centrada en Mendeléiev, y con poca apertura para la indagación por parte de los estudiantes.</p> <p>El autor no deja claro el nivel académico de los estudiantes a quienes se dirige la actividad.</p> <p>La actividad se divide en dos partes, en la primera, los estudiantes deben identificar patrones en las propiedades de los elementos, y en la segunda, el profesor lleva cabo una discusión donde resume la historia de la tabla de Mendeléiev y desarrolla algunos conceptos relacionados a la tabla periódica moderna.</p> <p>La actividad se realiza en equipos y se hace uso de 54 cartas con información de cada elemento, que los estudiantes deben ordenar con la guía del docente.</p>

Nargund & Park Rogers, 2009	<p>La actividad tiene como propósito introducir a los estudiantes la noción de cómo los modelos científicos evolucionan y el rol que tiene la indagación en este proceso.</p>	<p>La actividad está dirigida a estudiantes de secundaria y se desarrolla por equipos.</p> <p>Se basa en el modelo 5E de Bybee, considerando las fases de: una de involucramiento, dos de exploración, dos de explicación y una de elaboración. La fase de involucramiento y la primera de exploración se basan en rompecabezas, siendo el de la fase de exploración el que corresponde a la tabla periódica de Mendeléiev. Durante todas las fases, el profesor debe invitar a la reflexión respecto a los procesos que usan los mismos alumnos, y también discute aspectos relacionados a la naturaleza de la ciencia a lo largo de todas las fases, especialmente a la parte de historia de la ciencia y sobre los modelos en la ciencia.</p> <p>Así mismo, las autoras proponen modificaciones que podrían tener las actividades, sugieren preguntas guía a lo largo de las fases y proponen una rúbrica para poder evaluar el desempeño de los estudiantes durante toda la actividad.</p>
Schultz, 2005	<p>Propone un acercamiento para introducir varios conceptos importantes en torno de la tabla periódica, basado en el reconocimiento de patrones y con la ayuda de reglas simples.</p>	<p>El conjunto de actividades está dirigida a estudiantes de cursos propedéuticos para la universidad. A partir de una tabla periódica vacía, solo enumerada por renglones (5) y columnas (18 u 8 según la actividad), se desarrollan las siguientes ideas: escritura de fórmulas (óxidos); números de oxidación (a partir del patrón que tienen los óxidos); electronegatividad (para explicar la correcta nomenclatura de los óxidos); carácter ácido-base de los óxidos (a partir de las reacciones con el agua); la existencia de iones poliatómicos (originados a partir de las reacciones con agua); y el balanceo de ecuaciones.</p>

Valera Flores
& Padilla
Martínez,
2022

Propuesta basada en el enfoque 3D para la enseñanza de la ciencia (conceptos centrales, conceptos transversales y prácticas científicas), basado en lo establecido por el '*National Research Council*'.

Las autoras proponen una actividad introductoria al tema de tabla periódica dirigida a estudiantes de bachillerato, específicamente en el contexto de la 'Escuela Nacional Preparatoria' en la Ciudad de México. Para el desarrollo de la actividad se hace uso de 24 tarjetas correspondientes a los elementos representativos de los periodos 2, 3 y 4, y de las cuales sólo se entregan 17 a los estudiantes. Las tarjetas contienen información correspondiente a los elementos, pero no incluyen nombres ni símbolos para darle prioridad a la identificación de los patrones. Se les solicita a los estudiantes que ordenen las tarjetas dadas y de manera posterior se les pide contestar algunas preguntas para invitarlos a la reflexión sobre la distribución de sus tarjetas.

En contraparte, el artículo de Montejo Bernardo y Fernández González (2021) menciona un proceso llamado ‘*gamification*’¹², a través del cual se pretende estimular los procesos de aprendizaje en los estudiantes de manera “casi desapercibida”, y es común encontrar artículos que proponen juegos para la enseñanza de la ciencia, en especial para la búsqueda de ‘*periodic table*’. Si bien, muchas de estas propuestas pretenden involucrar a los estudiantes con el tema, usándose en forma introductoria, se suele dar mayor peso a la coherencia interna del propio juego y se deja de lado el contenido conceptual, resultando más en una herramienta mnemotécnica. Este tipo de actividades pueden resultar útiles a estudiantes de nivel secundaria o incluso preparatoria para que se familiaricen con los elementos de la tabla periódica (sus nombres, símbolos, números atómicos, etc.), sin embargo, en el contexto de la educación superior, no se desea tanto la memorización de información, sino que “los estudiantes aprendan a conocer nuevos conceptos” (Casasola Rivera, 2020, p. 42).

Finalmente, resulta interesante mencionar que, en aras de una educación científica con mayor inclusión y alcance, se han propuesto traducciones de la tabla periódica a idiomas indígenas, como el náhuatl (Flores López et al., 2022), para el caso de México, o el kichwa en la República del Ecuador (Andino Enríquez et al., 2022).

¹² Relacionado a la palabra ‘*game*’, juego.

3. Metodología

3.1 Problema y pregunta de investigación

Para presentar la pregunta de investigación y ponerla en contexto, a continuación se retoman de forma breve algunas ideas expuestas en el marco teórico.

La enseñanza del tema de propiedades periódicas y tabla periódica para estudiantes de nivel licenciatura, en carreras de química, suele abordarse desde la física moderna y con varios conceptos que surgen a partir del siglo XX, a pesar de que el sistema periódico comenzó a concebirse desde el siglo XIX y la renombrada tabla de Dmitri Mendeléiev fue publicada en 1869. Esto es algo que ocurre de manera generalizada, incluso los libros de texto de química que van dirigidos a los cursos de los primeros semestres abordan el tema de esta manera (Camacho González et al., 2007).

Esto puede causar problemas desde una perspectiva epistemológica, como el caso del reduccionismo de la química a la física (Scerri, 2019), por lo que es necesario priorizar un enfoque químico para la enseñanza de la química, y reconocer desde las etapas formativas a la química como una disciplina con historia y tradición propias. Entendiendo por tradición, todo aquello que involucra el quehacer del químico, sus conceptos y concepciones del mundo, los modelos que usa, y el marcado carácter empírico de esta ciencia.

A esto se le suma el problema de la postura que se toma ante la enseñanza de la ciencia, de articular los conocimientos en un discurso que se basa en las conclusiones (Niaz, 2005), al cual, responde la historia de la ciencia y el enfoque de indagación, y que a la vez se complementan con la inclusión de habilidades de pensamiento científico.

Por lo que la pregunta a la que se intenta dar respuestas a través de esta tesis es:

¿Cómo se desarrollan las habilidades de pensamiento científico cuando se enseña el tema de propiedades periódicas y tabla periódica a través de una secuencia didáctica planteada desde un enfoque de indagación e historia de la ciencia?

Donde las HPC que se estudian son las cinco que se abordaron en el capítulo 2.4: argumentación, pensamiento químico, el uso de modelos en la ciencia, pensamiento matemático y la habilidad de diseñar de experimentos.

3.2 Objetivo de la investigación

Identificar el desarrollo de habilidades de pensamiento científico en estudiantes de Química General I, a través del análisis de las respuestas a una secuencia didáctica para el tema de propiedades periódicas y tabla periódica, planteada con un enfoque de indagación y de historia de la ciencia.

Objetivos particulares

-Caracterizar las respuestas dadas por los estudiantes a la secuencia didáctica, por medio del uso del software de análisis cualitativo ATLAS.ti, para identificar tipologías de las respuestas, contenidos, y concepciones alternativas que tiene la población de estudiantes de primer semestre de la Facultad de Química de la UNAM.

-Discutir el aporte de los modelos históricos relacionados a la tabla periódica para la enseñanza del tema de propiedades periódicas y tabla periódica, así como la conexión que hay entre estos con las habilidades de pensamiento científico.

-Proponer modificaciones, en caso de ser necesarias, a la secuencia didáctica, con la finalidad de dirigir de mejor manera a los estudiantes durante el desarrollo de las actividades.

-Aportar con un trabajo práctico que ayude a fundamentar y promover las visiones de indagación y naturaleza e historia de la ciencia para la enseñanza de la química en las aulas de educación superior.

3.3 Hipótesis

Los estudiantes de primer semestre de licenciatura pueden desarrollar múltiples habilidades de pensamiento científico, entre la argumentación, el pensamiento químico, el uso de modelos en la ciencia, el pensamiento matemático y la habilidad de diseñar de experimentos, de forma simultánea a través de una secuencia didáctica sobre el tema de tabla periódica planteada desde un enfoque de indagación.

3.4 Metodología

Esta tesis es un caso de estudio con el propósito de determinar de qué forma los estudiantes están desarrollando habilidades de pensamiento científico al resolver las actividades de una secuencia didáctica (véase Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica) planteada desde un enfoque de indagación e historia y naturaleza de la ciencia, para la enseñanza del tema de tabla periódica y propiedades periódicas.

Para ello se realizó un estudio cualitativo, a través de la descripción y el análisis de las respuestas dadas por los estudiantes a dichas actividades.

Al hablar de habilidades de pensamiento científico nos referimos a las siguientes cinco: argumentación, pensamiento químico, uso de modelos en la ciencia, pensamiento matemático y la capacidad para diseñar experimentos, como se especificó también en la pregunta de investigación y la hipótesis.

La razón por la que se eligió una investigación cualitativa antes que una cuantitativa, es porque primero es necesario saber cómo identificar categorías contenidas en los datos relacionadas a los objetivos de la investigación, antes de poder sugerir la medición de dichas categorías convertidas en variables.

La secuencia didáctica está dirigida a estudiantes de las asignaturas de “Química General I” [QGI] y “Laboratorio de Química General I” [LQGI], impartidas en la Facultad de Química de la UNAM, y que forman parte de las asignaturas de tronco común que deben cursar todos los estudiantes de nuevo ingreso durante el primer semestre. Los grupos de QGI tienen alrededor de 70 alumnos y los grupos de LQGI alrededor de 18 alumnos. Si bien las

edades de los estudiantes de primer ingreso pueden variar, estas oscilan comúnmente entre los 18 y los 20 años. Los conocimientos previos con que cuentan los estudiantes al momento de ingresar a la facultad son heterogéneos, así como las preparatorias de las que provienen. La mayoría proceden de los planteles ubicados en la Zona Metropolitana del Valle de México (principalmente del “Colegio de Ciencias y Humanidades” [CCH] y de la “Escuela Nacional Preparatoria” [ENP]), aunque también se cuenta con estudiantes que vienen de otras entidades federativas del país. Estas diferencias como el lugar de origen, edad y conocimientos previos no son consideradas para el análisis, y la investigación queda delimitada por lo que ha quedado escrito en las respuestas de los estudiantes a las actividades de la secuencia didáctica.

Para las actividades, los alumnos forman equipos de tres a cuatro integrantes en los grupos de teoría, en los grupos de laboratorio los equipos están conformados por parejas, y en ambos casos, los estudiantes disponen de un tiempo aproximado de 30 minutos por cada actividad.

Los datos con los que se trabajó para realizar la investigación son las respuestas de los estudiantes a las actividades de la secuencia didáctica. Las hojas de las actividades de los grupos de teoría corresponden a los semestres: 2014-I, 2015-I, 2016-I, 2017-I, 2018-I y 2020-I. Las hojas de las actividades de los grupos de laboratorio corresponden a los semestres: 2016-I y 2018-I. Estas fueron recolectadas y almacenadas por la profesora (misma que es tutora de esta tesis). Debido a que desde el comienzo era necesario explorar el tipo de respuestas que dieron los estudiantes, se recurrió al uso de un software para análisis cualitativo llamado ATLAS.ti (versión 9), el cual permite trabajar con textos, imágenes, video y audio. Como es mencionado en la introducción del manual de usuario de este programa, ATLAS.ti permite una aproximación sistemática de la información desestructurada. Asimismo, es una herramienta útil para administrar, extraer, comparar, explorar y dar significado a la información (Friese, 2021). Debido a los requisitos y los límites dados por el programa respecto al tipo de documentos que acepta para poder trabajar con él, se tuvo que dar un pretratamiento a los datos.

Para el proceso de los datos previo a su análisis con el software, todas las respuestas fueron vaciadas en un único documento de Excel, donde se registró tanto la información escrita como las imágenes (escaneadas) de las respuestas que implicaban una solución gráfica (como los diagramas de flujo o la “tabla para armar” de Mendeléiev). Esto fue con el propósito de contar con toda la información digitalizada. Cada respuesta dada por un equipo para cada actividad representa la unidad de análisis para el estudio. Seguido a esto, y para poder utilizar el software, se crearon once documentos de texto por separado, cada uno corresponde con una misma actividad. La estructura de dichos documentos es la siguiente:

1. Al inicio se colocó una tabla que reúne las instrucciones para la actividad correspondiente a cada semestre (ya que hubo cambios sobre estas en algunos semestres).
2. Después, para cada semestre se elaboró una tabla, en la primera columna se registró el número de equipo y en la segunda columna se registró la respuesta. Cada renglón corresponde a la respuesta de un equipo. Por cada actividad y por cada semestre se conservó el número del equipo, esto es, el equipo 1 del semestre 2014-I es el mismo en todos los documentos donde aparece el semestre 2014-I. Esto permite dar seguimiento a las respuestas de un equipo conformado por los mismos alumnos a lo largo de todas las actividades.
3. Se añadió una tercera columna para recolectar la información gráfica de aquellas actividades que así lo requerían.

Una vez que se tuvo los documentos en archivo de texto en formato PDF, se pudo comenzar el proceso de codificación directamente en el software. Se entiende por código aquellas palabras o conjunto de palabras que permiten identificar las categorías contenidas en el material a analizar. El proceso de codificación es el que permite clasificar la información desestructurada, encontrar categorías inmersas en los datos y sugerir potenciales significados que permiten dar una interpretación a la información obtenida (Hernández Sampieri et al., 2014), el proceso es esencial, por ejemplo, para encontrar patrones en las respuestas de los estudiantes. También cabe aclarar que la codificación fue inductiva en su mayoría, por lo que muchos de los códigos surgen desde la información contenida en las respuestas, sin embargo,

también se cuentan algunos códigos deductivos obtenidos desde la bibliografía como los que refieren al “Pensamiento Químico” o el “Pensamiento Matemático”, por lo que el proceso de codificación fue mixto en este sentido.

También hay términos que deben aclararse para evitar confusiones y que aparecen de manera constante en este trabajo, y que incluso forman parte del léxico que maneja ATLAS.ti:

- Cita: Es la entidad que se crea al asignar un código o varios, a fragmentos del documento (ya sean fragmentos de texto, imágenes, audio, o video). En este trabajo, se produjo una cita por cada respuesta, o sea, una cita por unidad de análisis.
- Enraizamiento: Hace referencia al número de ocasiones que aparece un código en un documento (frecuencia). Cada código puede aparecer sólo una vez por cita, lo que equivale a una unidad de enraizamiento. En el texto se podrá encontrar abreviado como ‘enr.’ para agilizar la lectura.
- Coocurrencia: Cuando dos códigos aparecen de forma simultánea en la misma cita, se dice que estos coocurren, lo que equivale a una unidad de coocurrencia.
- Densidad: Durante el análisis de los códigos, se pueden encontrar relaciones entre algunos de ellos, estas relaciones siempre son binarias y permiten la creación de redes entre los códigos. Cada relación binaria aumenta en una unidad a la densidad de los códigos involucrados.

Para la codificación se siguió el proceso sugerido por Hernández Sampieri (Hernández Sampieri et al., 2014), el cual se plantea en dos niveles. En el primer nivel la codificación se hace sobre las unidades de análisis (respuestas): se asignan reglas a los códigos para su implementación y puede incluir códigos *in vivo* (palabras extraídas del mismo texto, también relacionado con la “autocodificación”). En el segundo nivel se validan los códigos con las citas a los que se les asoció y la justificación de los códigos se hace a través de: descripciones; búsqueda de significados; verificar su presencia (enraizamientos) y las relaciones entre distintos códigos. La forma en que esto último se hace explícito es con las matrices de coocurrencias o las redes de códigos. Además, las matrices y las redes pueden

corresponder con modelos que permiten explicar el fenómeno de interés con mayor profundidad.

Aunque pueda parecer una inconsistencia el hecho de que en algunas actividades se presente una red, para otras un diagrama Sankey o una tabla de coocurrencias, no es tal, debido a que para el análisis de los códigos, siempre tuvo que realizarse la matriz de coocurrencias, a partir de ella, el software ofrece los diagramas, y para la conformación de redes debe buscarse un significado a dichas coocurrencias. La selección de un instrumento u otro depende de la claridad y la interpretación que tenga cada uno para presentar los códigos.

El diagrama Sankey es preferible cuando el número de códigos involucrados es pequeño (alrededor de cinco), y se puede acompañar de la tabla para facilitar su comprensión. Mientras que las redes son más aptas cuando el número de códigos es mayor, las coocurrencias que presentan entre ellos también son múltiples y se relacionan a partir de la densidad entre los códigos. La explicación de cada instrumento se hará más detallada conforme surjan durante el análisis de resultados.

En las matrices de coocurrencias sólo se muestra la frecuencia como valor numérico y se descartó el uso de los coeficientes de la matriz ya que estos no son de pertinencia para este trabajo. Así mismo, se modificó el formato predeterminado que ofrece ATLAS.ti, en aras de tener tablas más compactas y que sean más sencillas de interpretar a partir de los valores numéricos, ya que aquí no se cuenta con el apoyo visual por colores que se tiene en el software.

Hay que considerar que el proceso de codificación es iterativo, pero para saber cuándo concluirlo se utiliza el concepto de saturación de categorías, mencionado por Hernández Sampieri (2014, p. 435), lo cual, en la práctica, se identifica cuando los datos ‘encajan’ con los códigos que se tienen y ya no surge información nueva, esto es, los datos se vuelven repetitivos.

Por lo mismo, algunos códigos pueden eliminarse en el proceso, o bien, fusionarse con otros al descubrir que los significados son idénticos. En el análisis se darán los detalles según sea el caso. Además, hay códigos que pueden aparecer en distintos documentos, esto es una situación común en las actividades de un mismo bloque, por ejemplo, las actividades relacionadas a

Döbereiner o a Odling. Finalmente, para poder localizar con mayor facilidad las secciones del texto que abordan a cada código, estos se inician con mayúscula como si se tratara de un nombre propio y están remarcados con ‘negritas’ dentro del texto (en las tablas no se consideró necesario este formato para los códigos).

Como comentario final se ha dejado la postura que se toma en este trabajo frente a las respuestas y las características o categorías que puedan encontrarse en su análisis. En ningún momento se pretende establecer una jerarquía, y este punto se retomará si se considera pertinente para el análisis. Se recuerda que este trabajo no pretende evaluar, sino describir a las respuestas.

4. Resultados y análisis

Los resultados obtenidos se presentan por actividad. Al inicio de cada apartado se agrega un pequeño comentario para recordar de qué trata la actividad. En seguida se incluye una tabla con los códigos obtenidos una vez terminado el proceso de codificación y su enraizamiento, con la explicación de cómo se utilizó para codificar a una cita, la clasificación por los temas a los que se relacionan (categorías más amplias que engloban a los códigos), y se agrega una cita para ejemplificar el uso de cada código. En la columna de las citas, también se agrega el número total de citas que surgieron del documento. En esta tabla aparecerán todos los códigos empleados en su respectivo documento y tienen un orden alfabético dentro de cada tema, y a la vez, los temas también están en orden alfabético. Posterior a la tabla, se encuentra el análisis de los códigos, se discute el significado que estos tienen, y las relaciones que surgieron a partir de las matrices de coocurrencias. Según sea el caso, se pueden presentar las nubes de palabras a partir de las cuales se originó el proceso de autocodificación, las matrices de coocurrencias para todos los códigos o por grupos de códigos, o las redes de códigos.

4.1 Primer actividad relacionada con Döbereiner (D1)

En esta actividad se les pide a los estudiantes que encuentren la relación matemática que involucra a las masas atómicas relativas de los elementos que constituyen una de las tríadas, en este caso se les pide trabajar sobre la tríada conformada por azufre, selenio y telurio (S, Se y Te), con valores de masas de 32.24, 79.26 y 129.24.

La Ilustración 7 muestra la nube de palabras surgida como primera herramienta exploratoria para la actividad 1. El software permite extraer una lista con las palabras seleccionadas en una hoja de cálculo, a partir de la cual es posible crear los primeros códigos que son de utilidad para comenzar con el primer documento. En esta nube de palabras

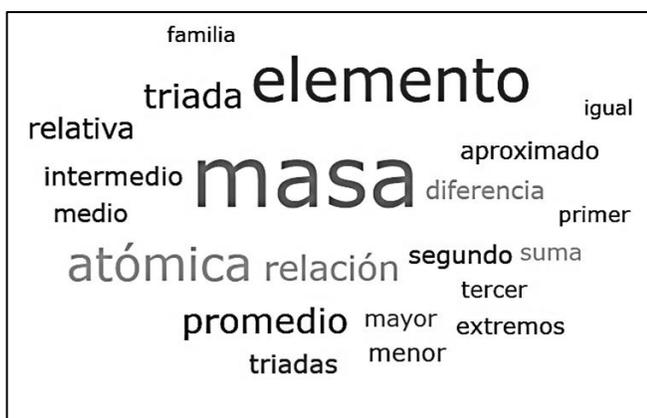


Ilustración 7. Nube de palabras usada para el primer nivel de codificación.

resaltan los términos ‘extremos’ e ‘intermedio’, ‘aproximado’, ‘promedio’ y ‘diferencia’, los cuales se convirtieron en códigos, y también se cuentan otras palabras que pese a estar relacionadas con la actividad, no ofrecen la información suficiente para llegar a ser un código, como masa o elemento para este caso, ya que su aparición es constante e independiente de las HPC.

Los códigos restantes que se muestran en la Tabla 2, surgieron a partir de la lectura de las respuestas y fueron necesarias dos lecturas completas para poder obtener la saturación de categorías.

La primera columna de la tabla 2, agrupa los códigos en categorías más amplias. El primero es “Pensamiento Matemático”, el cual engloba a los códigos a través de los cuales es posible identificar los razonamientos que involucran números, operaciones aritméticas y planteamiento de ecuaciones. El segundo tema, “Pensamiento Químico”, contiene aquellos códigos que implican justificaciones o razonamientos basados en conceptos químicos, tanto

para clasificar como para relacionar las propiedades de las sustancias involucradas. El tercer y último tema es sobre el “Uso de Modelos”, que abarca propiedades que corresponden a modelos o preconcepciones de estos, como el hecho de que puedan admitirse relaciones matemáticas aproximadas, o en cambio, se busquen las correcciones para tener mayor exactitud. Así, también el hecho de proponer predicciones con base en la explicación que se hizo sobre información conocida, se considera un aspecto de los modelos.

Tabla 2. Códigos relacionados con la actividad D1.

Tema	Código	Enr. ¹³	Explicación	Cita (Totales: 129)
Pensamiento Matemático	Diferencia	32	A través de este término se localiza al pensamiento matemático lineal.	1:2 “La diferencia entre el elemento de mayor masa y el elemento intermedio, más la diferencia entre el elemento intermedio y el de menor masa, al sumarlos obtendremos el mismo resultado que la diferencia entre el elemento de mayor masa y menor masa. [Te-Se=A; Se-S=B; Te-S=A+B]”
	Ecuación matemática	76	Se usa cuando aparece una ecuación matemática para describir la relación matemática. La ecuación se expresa en términos algebraicos.	1:125 “Döbereiner decía que la masa atómica del selenio era una aproximación al promedio de las masas entre azufre y telurio. $(M.A.S.+M.A.Te.)/2=80.74 \approx 79.26=M.A.Se. (A+C)/2=B.$ ”
	Orden numérico	87	Se asigna a respuestas donde se hace explícito que los estudiantes reconocieron un orden numérico entre las masas de los elementos.	1:57 “ $A+C/2=B$; Donde A y C son elementos extremos y B elemento intermedio.”
	Pensamiento divergente	11	Con este código se reconoce heterogeneidad en el tipo de respuestas, los casos que no	1:86 “ x =azufre; y =selenio, z =teluro. $[2x+2y=z+y-x/8], [64.61+158.52=221.3=129.24+79.26-4.3]$ ”

¹³ Abreviación para “Enraizamiento”

			corresponden con diferencias ni con promedios.	
	Promedio	84	Involucra directamente al promedio o la media aritmética. Se refiere al promedio de los dos elementos extremos.	1:84 “Al tomar las masas del telurio y del azufre, y después dividirlo entre 2, se obtiene la masa del selenio. Relación matemática: $[(A+B)/2=C]$ ”
	Promedio de tres	18	Refiere el promedio de los tres elementos.	1:9 “La relación es que la masa promedio de la tríada es aproximadamente igual a la masa del elemento intermedio de la tríada. $[(S+Se+Te)/3=80.24\approx 79.26]$ ”
Pensamiento Químico	Electrones	5	Usan conceptos más modernos (como configuración electrónica) sin que sea necesario.	1:71 “S: $[\text{Ne}]3s^2 3p^4$; Se: $[\text{Ar}]4s^2 3d^{10} 4p^4$; Te: $[\text{Xe}]5s^2 4d^{10} 5p^4$. Todos tienen 4 electrones de valencia. Al restar el 2 y el 1 da 47.02 y si eso se suma al segundo, como resultado da 126.28, valor aproximado al que se creía.”
	Pensamiento químico	3	Implica pensar en términos de identificación, reactividad y propiedades químicas.	1:41 “[...] La relación también permite saber que sus propiedades eran similares; pero la posición en la que se encontraban los clasificaba como más reactivos o menos reactivos. *Entre menor era su masa atómica (en la tríada) más reactivo es. **Aunque al reaccionar tuvieran semejanzas, sus propiedades variaban en intensidad, por ejemplo, el azufre es más reactivo que el selenio y que el telurio, pero el telurio también era menos reactivo que el selenio.”
Uso de Modelos	Aproximado	68	Se reconoce la falta de exactitud en las relaciones aritméticas sin que afecte la validez de la propuesta.	1:9 “La relación es que la masa promedio de la tríada es aproximadamente igual a la masa del elemento intermedio de la tríada. $[(S+Se+Te)/3=80.24\approx 79.26]$ ”
	Búsqueda de exactitud	2	Implica que se percibe la falta de exactitud numérica en los parámetros. Puede ser considerado como un	1:27 “La relación que hay es que la diferencia entre los 2 primeros elementos y su resultado más 2.96 g, más la masa atómica del segundo elemento nos da como resultado la masa atómica del tercer elemento. (masa atómica del segundo

			obstáculo para la fructificación de una idea.	elemento)-(masa atómica del primer elemento)+2.96 g + (masa atómica del segundo elemento)=(masa atómica del tercer elemento)”
	Predicciones relacionadas al sistema	1	Se da relevancia a las predicciones que están involucradas con cada sistema.	1:67 “Tomando en cuenta que la diferencia de masas del Selenio y Telurio es de 49.98 y la de Azufre con el Selenio es de 47.02, podemos deducir que la masa del elemento siguiente en la familia aumentará aproximadamente 48.5 unidades de masa.”

Como es posible observar, se obtuvieron cuatro códigos de bajo enraizamiento:

- **Búsqueda de exactitud** (2 enr.): Sólo dos equipos encontraron como un problema el hecho de que los valores correspondieran de manera aproximada, por lo que se vieron en la necesidad de incluir correcciones numéricas en sus ecuaciones. El código coocurre las 2 ocasiones con **Ecuación matemática**, así que la situación se aclara por sí misma.
- **Electrones** (5 enr.): En estas respuestas se evoca a conceptos relacionados con los electrones, como configuración electrónica, electrones de valencia o números de oxidación, aunque para esta actividad son conceptos que en nada ayudan a esclarecer la relación de las tríadas. Sus coocurrencias no revelan información que involucre al pensamiento matemático.
- **Pensamiento químico** (3 enr.): Los tres enraizamientos revelan que los estudiantes pusieron especial atención a la idea de un elemento intermedio en la tríada con propiedades intermedias (3 coocurrencias con **Intermedio**).
- **Predicciones relacionadas al sistema** (1 enr.): Sólo un equipo llega a proponer la predicción de la masa de un cuarto elemento que extendería la tríada, sin embargo, lo hacen a partir de la idea de las diferencias entre los valores de masa (1 coocurrencia con **Diferencia**).

El código de **Orden numérico** surgió a partir de la fusión de dos códigos que se presentaron en el primer nivel de codificación: **Intermedio** y **Extremos**. Estos dos códigos en realidad responden al mismo procedimiento numérico, el de ordenarlos de menor a mayor.

Es algo que no se puede obviar que los estudiantes hagan, y esto se demuestra porque no es algo que se manifiesta de manera explícita en todas las respuestas. Una vez que los valores numéricos son ordenados, se puede trabajar con ellos de manera más sencilla, ya sea para encontrar los promedios, o calcular diferencias entre los valores, o bien, sólo afirmar que unos valores son mayores que otros. Los tres casos se pueden presentar en las respuestas analizadas.

En cuanto al pensamiento matemático, que es el principal interés de esta actividad, se encontraron en general tres formas en las que los estudiantes relacionaron las masas de los elementos de una tríada. A través de: el **Promedio** (incluye **Promedio de tres** como un caso más específico); de calcular la **Diferencia**; y de formas heterogéneas agrupadas bajo el código de **Pensamiento divergente**. Recordando el enunciado de Döbereiner de la sección 2.1.1 dice: “*La mitad de la suma de los pesos atómicos de los elementos con el menor y el mayor peso, da un valor aproximado al peso atómico del elemento intermedio de la tríada.*” Si identificamos con A , B y C , a los valores de masa de los elementos de masa menor, intermedia y mayor en ese orden, podemos escribir que: $\frac{1}{2}(A + C) \approx B$.

Se ve así, que es deseable que la mayoría de las respuestas se codifiquen con **Promedio**, que involucra y se limita por operaciones de suma y multiplicación, propias de los números racionales. El caso del **Promedio de tres** se presenta con una ecuación del tipo: $\frac{1}{3}(A + B + C) \approx B$, la cual también se cumple, y haciendo un poco de álgebra es posible comprobar que ambas ecuaciones son equivalentes. Sin embargo, los alumnos no se dan cuenta de ello, si proponen la del segundo caso, no la simplifican hasta obtener la primera.

El otro tipo de respuestas que corresponden al código **Diferencia**, se caracterizan porque las relaciones entre los valores se dan por restas, diferencias tal cual. Si mantenemos la notación, estas restas se reducen a que: $C - B = B - A$. Nuevamente, con un poco de álgebra sobre esta expresión, es posible llegar a la ecuación que corresponde a la del enunciado para las tríadas, pero ese tipo de tratamiento tampoco se presenta en las respuestas de los estudiantes. Es como si la relación entre los valores se mantuviera sobre la recta numérica, donde es posible operar sólo con sumas o restas, como con los números enteros. Por este

motivo se propone que este tipo de respuestas delatan a un “pensamiento matemático lineal”, incapaz de operar con multiplicaciones.

Promedio y Diferencia son dos formas distintas de pensar los números, y se confirma al observar las coocurrencias de estos códigos en la Tabla 3. Por ejemplo, en la cita 1:10 se lee: “*Encontramos que la suma de los extremos de la triada, entre 2 nos da una masa aproximada al elemento de en medio además la diferencia de masas entre el primero y segundo, segundo y tercero es una masa parecida.*” La palabra “*además*” funciona como un conector de dos ideas distintas, que no parecen estar relacionadas de ninguna manera. En esta respuesta no se presenta ninguna ecuación matemática, lo que dificulta conectar al promedio con la diferencia. Aún más, la cita 1:76 dice: “*Nos dimos cuenta, que entre los elementos de cada familia la masa se va a aumentar o disminuir en un aproximado de 48.5 cada que pasemos de un periodo a otro, siempre de la misma familia, en este caso la del azufre. Ecuación para este caso: $y=48.5x-113.20$, y en general $y=mx+b$.*”. Aquí aparece la ecuación canónica para una recta, en la cual es difícil visualizar el promedio entre valores matemáticos, la forma de pensar es de otra clase, es lineal.

Así queda claro por las coocurrencias y los ejemplos de las citas, que en efecto existen al menos esas dos formas de pensar los valores numéricos: promedios que operan con sumas y multiplicaciones, y diferencias en las que sólo operan sumas y restas. Además, se logró identificar otras formas, algunas más complejas y otras menos. Compárese la cita 1:86 que ejemplifica el uso de **Pensamiento divergente** en la Tabla 2, la ecuación que ahí se muestra tiene una forma bastante diferente a las que se han presentado, y aunque sigue manteniéndose bajo operaciones de suma y multiplicación, no se agregó nada más a la respuesta, por lo que poco podemos decir sobre la forma de pensar los números.

En la Tabla 3 se muestran las coocurrencias entre los siete códigos que tienen más de diez enraizamientos. Hacer un análisis casilla por casilla de la tabla extendería en gran medida el tamaño de este trabajo y se corre el riesgo de salir de los objetivos de esta investigación. Por eso, se ha optado por explicar aquellas coocurrencias que llaman más la atención, como la de los códigos **Promedio y Diferencia**, que a pesar de ser dos categorías que representan formas

de pensamiento matemático distintas, no son opuestas y pueden presentarse en una misma respuesta.

Tabla 3. Matriz de coocurrencias de los códigos más relevantes de la actividad D1.

	Pensamiento divergente (11)	Promedio de tres (18)	Diferencia (32)	Aproximado (68)	Ecuación matemática (76)	Promedio (84)
Orden numérico (87)	3	14	17	51	50	65
Promedio (84)	3	3	7	50	57	
Ecuación matemática (77)	8	6	14	38		
Aproximado (68)	3	12	15			
Diferencia (32)	3	5				
Promedio de tres (18)	0					

Se observa que el código **Aproximado** es compatible con las distintas formas de pensar valores numéricos, ya sean promedios, diferencias o las divergentes. Por este motivo también se concluyó que este código corresponde a un atributo en torno a los modelos. Después de todo, el carácter de aproximación se contextualiza con ecuaciones matemáticas, ecuaciones que buscan vincular los valores numéricos de las masas y a su vez, tienen relación con las “propiedades intermedias” que estos presentan, sean físicas o químicas.

También se aprecia que las distintas formas de pensar los valores numéricos no se excluyen entre sí y pueden presentarse en la misma respuesta, no obstante, en ninguna cita

se pudo localizar que se relacionara directamente una forma con otra, cada una representaba una manera distinta en la que las masas de los elementos se relacionaban.

Otro código que muestra coocurrencias con todas las formas de pensar los números es **Ecuación matemática**, con 76 enraizamientos, indica que en casi el 60% de las respuestas, los estudiantes consiguieron expresar en términos algebraicos la relación que encontraron, independientemente de cómo concibieron la relación entre las masas.

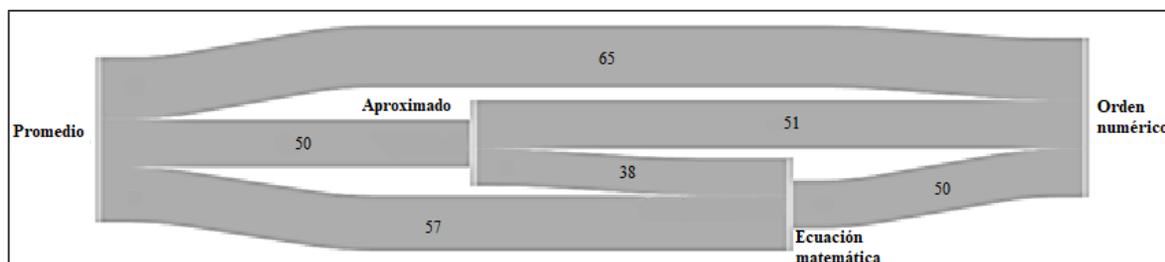


Ilustración 8. Diagrama Sankey de los cuatro códigos con mayor presencia en las respuestas de la actividad D1.

Por último, resaltan las coocurrencias que aparecen en las últimas tres columnas, las cuales involucran a los códigos: **Aproximado**, **Ecuación matemática**, **Orden numérico** y **Promedio**. Puede pensarse a este grupo de cuatro códigos como característicos de esta actividad, los que describen el caso más común hallado para estas respuestas. Esto quiere decir que el tipo de respuesta que es más probable encontrar es aquella donde los alumnos identificaron correctamente la relación entre las masas de los elementos de una tríada (relación de Döbereiner), considerando el carácter aproximado de la relación, y lograron escribir una ecuación en términos algebraicos que expresaba dicha relación, mientras se hacía explícito el ordenamiento de los elementos, identificando el de menor masa y el de mayor masa (los elementos extremos de la tríada) y el elemento de masa intermedia. Estos códigos se relacionan a la identificación de la relación entre las masas de los elementos de una tríada.

El diagrama Sankey de la Ilustración 8 muestra de forma gráfica cómo es que estos códigos con alta coocurrencia entre ellos se relacionan. Sólo hay que tener precaución al momento de interpretar este tipo de diagramas. Como se mencionó en su momento, la coocurrencia es una operación binaria, siempre considera dos códigos a la vez, por lo que el diagrama no ofrece coocurrencias de tres códigos de forma simultánea, como podría pensarse

al seguir una trayectoria en el diagrama que inicie en **Promedio**, pase por **Ecuación matemática** y termine en **Orden numérico**. Sin embargo, que haya cuatro códigos con altos valores de coocurrencia entre ellos y que de manera gráfica se aprecie que todos están “entrelazados”, permite tener una idea muy clara sobre las características que pueden encontrarse en las respuestas más habituales para esta actividad.

Como comentario final se ha dejado una observación respecto a lo que sucede en el aula cuando los estudiantes responden esta actividad. Al principio la profesora les comenta a los estudiantes que disponen de 15 minutos para su realización, sin embargo, este tiempo se termina extendiendo a la media hora, lo que indica que no es una actividad fácil en su resolución para los alumnos. Es por eso que tiene importancia el desarrollo del pensamiento matemático. La química, como ciencia, requiere la comprensión y aplicación de procedimientos matemáticos, cuya complejidad varía según el tema. Si los estudiantes tienen dificultades para responder actividades de aparente sencillez, como la que se presentó, que implican el manejo de datos numéricos, y no se hace nada por promover esta habilidad, se corre el riesgo de que los estudiantes tengan una formación profesional con deficiencias en esta área.

4.2 Segunda actividad relacionada con Döbereiner (D2)

En esta actividad se les solicita a los estudiantes que expliquen por qué consideran que el descubrimiento de la relación de las tríadas de Döbereiner fue importante. A partir del semestre 2016-1 se les pide que lo argumenten a través de una rejilla de Toulmin, con la misma estructura que aparece en la Ilustración 6, a excepción de los grupos de laboratorio. Es por esto que los códigos y las citas que aparecen en la Tabla 4 pueden corresponder tanto a argumentos presentados con una rejilla de Toulmin, como a justificaciones más abiertas. En el análisis de la argumentación es donde se señalan las diferencias entre una forma de respuesta y otra.

Tabla 4. Códigos relacionados con la actividad D2.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 127)
Argumentación	Argumento desarrollado	20	Corresponde a las respuestas que no son con RAT ¹⁴ pero están desarrolladas con más de dos enunciados.	2:127 “Porque fue el primero en ordenar los elementos en familias(triadas) según sus propiedades en común, que tenía un fundamente físico (masas) y permitía predecir el comportamiento de ciertos elementos (por ejemplo, se puede predecir que el sodio es más reactivo que el litio y menos que el potasio, siendo su reactividad la media entre el litio y potasio)”
	Contradicción	1	Existen enunciados que se contradicen entre sí.	2:40 “D: El descubrimiento es importante; [...] C:no es importante el descubrimiento ya que las masas atómicas sólo nos permiten conocer un dato más de un elemento pero no me lleva a conocer más de él.”
	Dos enunciados o menos	37	La justificación se conforma por dos enunciados o uno.	2:27 “Para poder establecer un orden de elementos con propiedades similares.”
	Enunciado falso	5	Se usan enunciados falsos para la construcción del argumento. No hay	2:41 “D: La triada tiene una relación entre 2 elementos; [...].”

¹⁴ Rejilla de Argumentación de Toulmin.

			correspondencia con los hechos.	
	Enunciado sin sentido	3	Contiene uno o más enunciados que mantiene la estructura lógica, pero carece de sentido lo que contiene. O bien, no se expresa la idea de forma clara, lo que dificulta la comprensión de lo que se quiere decir.	2:107 “D: Si azufre ya que es menor C: Teluro ya que es mayor; G:ya que el selenio es intermedio; S: la masa es menor la suma de $(S+Te)/2=Se$; R:---“
	Enunciados equivalentes	4	Se contienen enunciados que dicen cosas semejantes. Son repetitivos.	2:97 “[...]; C:entonces $ZR_{Se}=(ZRS+ZR_{Te})/2$ [ZR:masa atómica relativa]; G:ya que, si sumamos las masas atómicas relativas de los elementos que están en los extremos y los dividimos entre 2, obtendremos la aproximación de la masa atómica relativa del elemento medio; [...].”
	RAT coherente	61	Existe coherencia entre los enunciados de la RAT consigo mismos y con los hechos.	2:62 “D: Wolfgang identificó varios grupos de 3 sustancias; G:ya que curiosamente eran siempre tres las sustancias que se parecían entre sí; S:a causa de que existía una relación entre las masas de los elementos que conformaban sus grupos; C:entonces creó las triadas de Döbereiner; R:a menos que consideremos que las masas en su época son erróneas a comparación de las masas contemporáneas.”
	RAT incompleta	5	Se usa cuando falta al menos una parte en la estructura del argumento.	2:78 “D: Wolfgang Döbereiner propuso que había una relación entre las masas atómicas de elementos con propiedades semejantes. El elemento que había en medio tenía una masa atómica intermedia; C:entonces pudo formar las triadas, que ayudaron a acomodar los elementos.”

Pensamiento Químico	Electrones	4	Usan conceptos más modernos (como configuración electrónica) sin que sea necesario.	2:70 “[...]; S:a causa de su configuración electrónica y su relación con el número de oxidación; [...]”
	Grupos o Familia	28	Identificación de los grupos de elementos. Se le asocia al concepto de familia o grupo en el que las propiedades de los elementos son similares.	2:65 “[...]; G:ya que el promedio de los elementos del extremo (misma familia) nos da la masa del intermedio; S:a causa de que estos tienen relación con sus propiedades; [...] R:a menos que estos elementos no se encuentren en la misma familia.”
	Masa atómica	89	Resalta la importancia que se le da a la masa atómica como parámetro para la clasificación.	2:63 “[...]. D:Existe relación entre las masas y es importante; G:ya que la relación determina características en común; S:a causa de esto se crearon las triadas; C:entonces se clasifican periódicamente; R:a menos que no exista una relación de masas.”
	Número atómico	3	Se menciona al número atómico en lugar de, o en relación con la masa.	2:71 “[...]; S:a causa de las similitudes que mostraron los elementos cuando el número atómico completaba cierto ciclo; R:a menos que los elementos no se comporten afín a sus triadas o familias, no se comporten periódicamente, es decir, no repitan sus propiedades en función de su masa o número atómico.”
	Pensamiento químico	66	Implica pensar en términos de identificación, reactividad y propiedades químicas.	2:54 “D: Existe una relación entre algunos grupos de tres elementos llamados triadas; G:ya que tienen propiedades similares, como la reacción en las mismas sustancias; [...]”
	Periodos	8	Se hace alusión a los periodos.	2:96 “[...]; G: ya que hay una relación de masas atómicas relativas; S: a causa de la periodicidad; R:a menos que no exista periodicidad entre ellas.”
	Relación	61	Se remarca la importancia en la relación matemática entre los valores de masa.	2:66 “D: Existe una relación de masas de las triadas de Döbereiner; C:entonces podemos deducir las masas de los siguientes elementos de la familia; G:ya que existe relación entre la diferencia

				de cada masa que aumenta de manera constante; S:a causa de los experimentos realizados por Döbereiner; R:a menos que fuera de la triada no se cumpla la relación.”
	Tabla periódica	28	Hacen una conexión directa con la tabla periódica en el sentido actual.	2:11 “Descubrió y dio las bases de las familias, dándole una ayuda a Mendeléev para la construcción de su tabla, basada en sus propiedades. [...]”
	Triada	75	Hace alusión a las triadas de Döbereiner, y generalmente se las asocia con las familias.	2:43 “D: Las triadas de Döbereiner sentaron las bases para el ordenamiento de los elementos en la tabla periódica actual; [...]; C:entonces a partir de este descubrimiento e investigaciones posteriores se encontró que las triadas formaban parte de lo que se conoce actualmente como familia; [...]”
Uso de Modelos	Búsqueda de exactitud	19	Implica que se percibe la falta de exactitud numérica en los parámetros, y puede ser considerado como un obstáculo para la fructificación de una idea.	2:12 “Fue importante porque en su momento fue una manera de clasificar los elementos, sin embargo, no trascendió debido a su margen de error.”
	Búsqueda de predicciones	9	Se valora al sistema de clasificación por su capacidad (esté bien justificada o no) de hacer predicciones sobre los elementos, ya sea de sus propiedades o de sus masas.	2:30 “Este descubrimiento pudo haber contribuido a la predicción de nuevos elementos y sus masas atómicas.”
	Clasificar	44	Se refieren a la importancia de que haya una clasificación.	2:108 “D: Relación entre elementos; C: nos permite clasificar a partir de su relación; G: ya que tienen propiedades similares; [...]”
	Exclusión de elementos	15	Se identifica la imposibilidad de añadir elementos a la	2:13 “[...]. Creemos que no trascendió porque aparte de que no eran exactos sus resultados, no era

			clasificación como una falla del sistema propuesto.	una relación que se podía aplicar a todos los elementos.”
	Exclusividad de la masa	2	Se piensa que la masa es el único criterio para clasificar a los elementos.	2:15 “[...]. No trascendió porque únicamente se basa en sus masas atómicas.”
	Orden	32	El orden generalmente lo hacen referido al orden creciente según la masa atómica, lo que da una posición a los elementos para facilitar su identificación.	2:39 “Para poder acomodarles de manea creciente. Para desarrollar una organización más completa y compleja de los elementos. Da la noción de que existe una unidad entre elementos.”
	Primer sistema de clasificación	38	Se reconoce a las triadas de Döbereiner como un primer sistema para clasificar los elementos o que da las bases para ello.	2:88 “D: La primera clasificación periódica fue basada en las masas atómicas de los elementos; [...]”
	Uso práctico	4	Se les atribuye una función práctica a las tríadas para poder calcular masas atómicas.	2:21 “Porque con esto se puede determinar la masa atómica del elemento intermedio.”

Al ser una actividad enfocada a la justificación y la argumentación, la cantidad de códigos que surgen es más amplia que la anterior, con variedad de combinaciones entre ellos (coocurrencias), pues al ser una actividad más abierta, permite mayor diversidad de ideas contenidas en las respuestas. Además, entre la actividad anterior y esta no hay aún una retroalimentación, por lo que en estos razonamientos se involucran las ideas propuestas por cada equipo en D1.

En la actividad anterior fue posible identificar grupos de respuesta caracterizadas por códigos en común, además, la respuesta que se espera de los estudiantes está más acotada, se debe encontrar algo más concreto, la relación de las tríadas. Empero, en esta actividad se tienen justificaciones, las cuales dependen de aquello que cada equipo haya considerado más importante, y que van a presentar más variaciones en su exposición.

Para abordar este tipo de respuestas se partió de que una justificación en realidad está conformada por un conjunto de enunciados, esté estructurada o no de acuerdo con la rejilla de Toulmin. Además, de manera independiente, por un lado aparece la articulación de esos enunciados, y por el otro, el contenido temático. La primera sección de este análisis se centra en brindar una noción sobre el contenido de las oraciones usadas por los alumnos, a través de las ideas que se originan a partir de las coocurrencias entre los códigos correspondientes. En la segunda parte se analizan los argumentos y las justificaciones como entes que poseen una lógica interna, responden ante la validez de sus enunciados, y se interpretan gracias a sus significados.

Los códigos de bajo enraizamiento (menor de diez) y que se relacionan con el contenido son: **Búsqueda de predicciones, Electrones, Exclusividad de la masa, Número atómico, Periodos y Uso práctico**. De estos, sólo el tercero aparece como una desventaja de las tríadas, ya que se menciona la intrascendencia de esta propuesta ocasionada por basarse sólo en un parámetro de los elementos. Sin embargo, no está mal, pues se necesita una investigación más profunda para saber que Döbereiner necesitó más información para llegar a proponer la existencia de tríadas, la cual no se les pide a los alumnos. Los códigos restantes se aprecian como cualidades que resaltan la importancia del descubrimiento de las tríadas. Sus usos quedan bien ejemplificados por las citas que les corresponden en la Tabla 4.

Los demás códigos son los más relevantes para el análisis de los contenidos. Estos códigos son los que pertenecen a los temas “Sobre el Modelo” y “Pensamiento Químico” de la Tabla 4, que presentan más de trece enraizamientos y cuyas interacciones no se alcanzan a valorar en una matriz de coocurrencias. No obstante, en la Ilustración 9 se presenta la red donde aparecen los once códigos y sus relaciones. Para obtener dicha red, fue necesario hacer la matriz de coocurrencias y analizar qué sucedía en aquellos casos de resaltaban por sus frecuencias. El análisis de las citas involucradas esclareció el tipo de relación que había entre los códigos y se muestra con la frase acompañante de cada línea que conecta códigos en la red. Aquellas coocurrencias que no revelaban ningún significado fueron descartadas y no muestran ninguna conexión entre códigos en la red. Se debe tener en cuenta que cada línea representa una unidad de densidad, recordando que la densidad involucra siempre a dos

códigos (es binaria igual que la matriz de coocurrencias y el diagrama Sankey). Por ejemplo, el código **Tríada** es el que presenta mayor densidad, contando 9 unidades, esto es, 9 códigos con los que interactúa, y el código **Pensamiento químico** sólo cuenta con 1 unidad de densidad, y se relaciona únicamente con **Clasificar**.

A diferencia de la matriz de coocurrencia, la red permite aclarar cómo es el tipo de relación que se da entre dos códigos. También hay que tener cuidado con su interpretación, la red es un modelo que busca describir las relaciones entre los códigos del documento y que se obtuvo mediante un proceso inductivo, por lo que no todas las coocurrencias van a presentar el mismo tipo de relación, sino que es algo que ocurre en lo general con algunas excepciones.

El valor de la red radica en su capacidad para organizar los códigos y proveer de una narrativa que esclarece lo que los estudiantes pueden llegar a pensar para construir un argumento. Por ejemplo, los alumnos pueden darse cuenta de que: la **Tríada** es una **Relación de Masas atómicas** que se asocia con **Clasificar** a los elementos. Este tipo de oraciones que se construyen a partir de la red brindan una noción ilustrativa sobre lo que podemos encontrar al leer las respuestas.

Vale la pena aclarar dos cuestiones con el uso de las redes. La primera es que todas las líneas representan lo mismo, una relación binaria entre dos códigos, si en algún momento parece que una es más gruesa que otra se debe a un detalle gráfico del software que no tiene significado alguno, todas las líneas son iguales, ninguna tiene más relevancia que otra en tanto que relacionan códigos. El segundo punto es que, la densidad de un código se refleja en la red de acuerdo con el número de líneas que se relacionan con otros códigos. Como se mencionó antes, cada unidad de densidad es una relación código-código, así, en la Ilustración 9 se observa que el código **Tríada** tiene 9 unidades de densidad (9 líneas a su alrededor) y el código **Exclusión de elementos** sólo tiene 2 unidades de densidad. Mientras mayor es la densidad de un código, mayor es el número de relaciones que tiene, entonces, mayor es la relevancia que tiene ese código para analizar un documento.

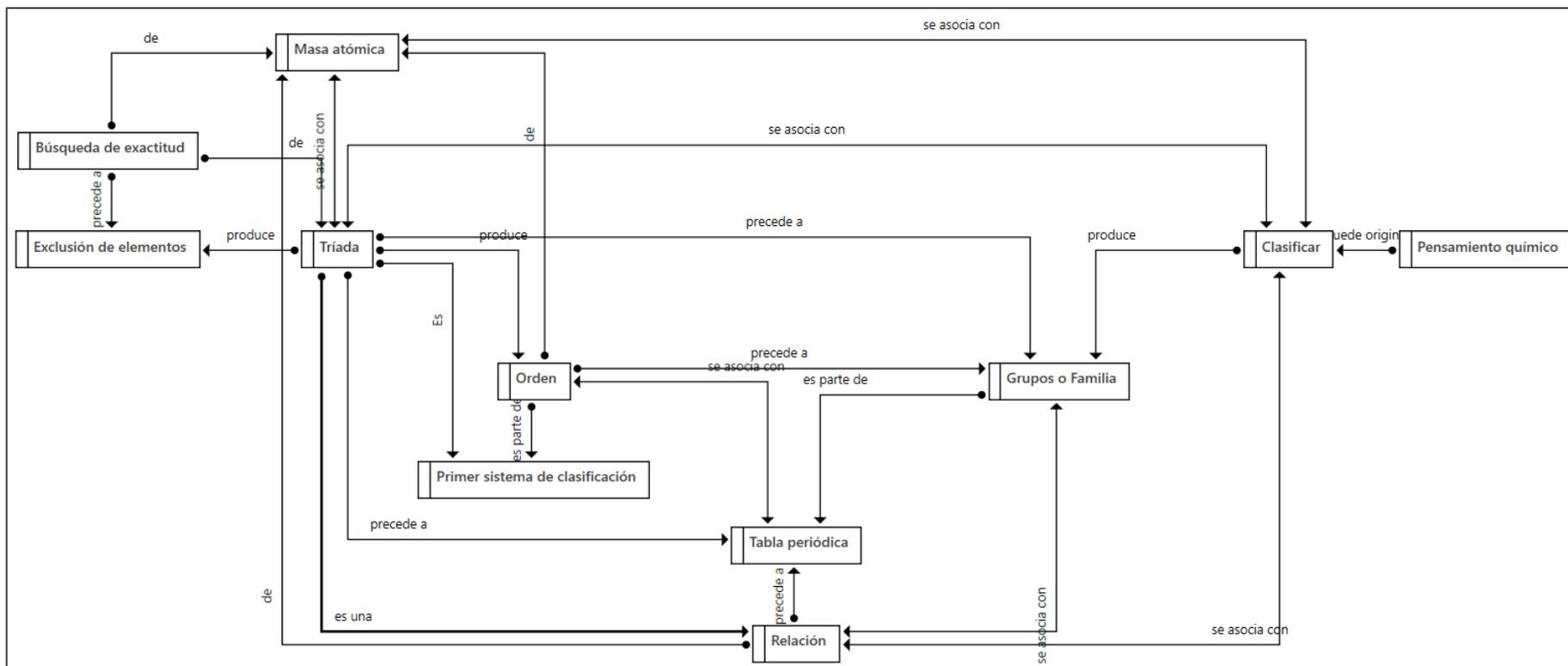


Ilustración 9. Red de códigos sobre las ideas más comunes que aparecen en la actividad D2

Puede pensarse que hay códigos que resultan obvios o que llevan a la recursividad, como **Tríada** o **Masa atómica**, después de todo, la actividad D1 requiere estrictamente que se haga uso de estos conceptos, sin embargo, se ve cómo **Masa atómica** resulta ser un código articulador esencial para conectar las trayectorias de la red y darles mayor sentido, asimismo, la **Tríada** actúa como una fuente, desde la cual emanan posibles rutas y que hace énfasis en la importancia de esta idea, denotando su papel central.

También se observan algunos códigos periféricos, que no es necesario que aparezcan en las regiones más externas de la imagen, ya que la red es sólo una representación visual de las interacciones entre los códigos. Por ejemplo, **Exclusión de elementos** o **Primer sistema de clasificación** son códigos que pueden no representar la idea con mayor peso en un argumento, pero son un apoyo importante como parte de este último. Así, podemos encontrar a la **Exclusión de elementos** formando parte de muchas de las refutaciones en las rejillas de argumentación de Toulmin.

Explicar todas las relaciones que se muestran en la red aumentaría en gran medida la extensión de este trabajo, debido a las múltiples trayectorias que pueden formarse para crear enunciados, pero basta con hacer uso de la red en sí misma para encontrar la variedad de las oraciones a las que pretende englobar, considerando que los códigos ya son una abstracción de la información y teniendo siempre en cuenta que surgió a partir de 127 respuestas incluyendo los casos no considerados en la red que involucran a los códigos de bajo enraizamiento ya discutidos.

Finalmente, se discuten los ocho códigos relacionados con la argumentación. Para ello, se consideran dos grandes grupos de respuestas, aquellas que se estructuraron de acuerdo con la rejilla de argumentación de Toulmin (RAT) y las justificaciones que están en un formato más libre. Para analizar las RAT se necesitaron seis códigos: **Contradicción**, **Enunciados equivalentes**, **Enunciado falso**, **Enunciado sin sentido**, **RAT coherente** y **RAT incompleta**. Los primeros dos refieren a condiciones desfavorables para la lógica del argumento; el tercero refiere a la falta de concordancia de los enunciados con los hechos, esto es, su validez en tanto que se dirige a un objeto de la realidad; el cuarto resalta la falta de significado de los enunciados, o la dificultad para que sean interpretados por otro sujeto;

el quinto abarca a los argumentos coherentes, tanto en la lógica de su construcción como en la validez de sus oraciones, y que además, son comprensibles. Se observa que una RAT no puede ser coherente si existen contradicciones entre sus enunciados, no puede ser válida si se basa en enunciados falsos y no se puede valorar su coherencia si el sentido de sus enunciados no es claro. Por último, el sexto código pretende ayudar a determinar si se omiten elementos en una RAT, y se observa que es un código que no compromete de forma importante ni la lógica, ni la validez, ni el significado del argumento.

Los dos códigos restantes, **Argumento desarrollado** y **Dos enunciados o menos**, se aplicaron sobre las respuestas que no implementaron la RAT y que se solicitan a los estudiantes como una justificación. En este caso, el primer código cumple la función de **RAT coherente** para con la RAT.

De las 127 citas, 70 son los argumentos construidos con una RAT y 57 las respuestas restantes. De las 70 RAT, 61 (87%) se codificaron como **RAT coherente**, lo que indica que en general los estudiantes son capaces de hacer uso de esta forma para argumentar. Por otro lado, de las 57 justificaciones, sólo 20 (35%) fueron **Argumentos desarrollados** y 37 fueron breves, conformándose por **Dos enunciados o menos**. En proporción, se observan más respuestas deseables al solicitar un argumento construido con una estructura dada. De otra forma, los estudiantes optan por respuestas más cortas y que carecen de la misma “solidez”, ya que con **Dos enunciados o menos** es difícil defender un punto, indicar las debilidades de un argumento y explicar las bases para hacer una afirmación.

Así, queda claro que la argumentación como habilidad de pensamiento científico, toma un papel fundamental para el desarrollo de esta actividad, además que el contenido de los argumentos involucra aspectos del pensamiento químico y el uso de modelos en la ciencia.

4.3 Tercera actividad relacionada con Döbereiner (D3)

Esta es la actividad que cierra la sección que aborda a las tríadas de Döbereiner como idea precursora para el descubrimiento de la periodicidad entre los elementos. Se les solicita a los estudiantes que consideren la hipótesis de William Prout, para proponer una tríada que cumpla con la hipótesis de Prout, es decir, que las masas atómicas de los elementos de la tríada sean múltiplos enteros de la masa del hidrógeno. Si no la encuentran, se les pide que justifiquen el por qué no fue así. Además, para los grupos de teoría de los semestres 2018-1 y 2020-1 se añade que expliquen por qué ni las tríadas de Döbereiner ni la hipótesis de Prout fructificaron.

Tabla 5. Códigos relacionados con la actividad D3.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 97)
Argumentación	Enunciado falso	4	Se usan enunciados falsos para la construcción del argumento. Los hechos no corresponden con los enunciados.	3:43 “No es posible encontrar una triada que cumpla con dicha relación porque lo que Döbereiner veía como masa atómica, Prout lo veía como número atómico.”
	Enunciado sin sentido	5	Contiene uno o más enunciados que mantiene la estructura lógica, pero carece de sentido lo que contiene. O bien, no se expresa la idea de forma clara, lo que dificulta la comprensión de lo que se quiere decir en la respuesta.	3:82 “[$(Li+K)/2=23.015=Na$] ; No es un múltiplo del hidrógeno porque no tiene en cuenta a los protones. Además, Prout decía que la periodicidad es en base al hidrógeno, cuando en realidad es entre todos los elementos.”
	Exclusión entre Tríadas e Hipótesis de Prout	4	Se afirma que no se pueden cumplir ambas a la vez, o se tienen ternas de elementos que forman una tríada, o una terna de elementos con masas enteras. También puede darse por una incorrecta interpretación de cualquiera de las dos propuestas.	3:27 “No se encuentra porque se cumple una u otra, pero no ambas. Prout se cumple si se toman elementos consecutivos de los periodos, pero no de las familias. C, N, O: cumple Prout. Be, Mg, Ca: cumple Döbereiner.”

	Justificación por época	16	Se valora una idea por que se piensa que en aquella época los datos experimentales que se tenían eran muy diferentes a los de hoy. Pueden encontrarse anacronismos.	3:69 “En la época de estas propuestas no se contaban con los instrumentos de medición necesarios, lo que hizo que los resultados de la masa atómica de los elementos no coinciden. [...]”
	Sin fundamento	8	Son respuestas que no asocian los conceptos de la actividad en sus enunciados. También suele darse por razonamientos anacrónicos.	3:45 “C, N y O. Logramos dar un aproximado de la masa atómica del nitrógeno. 2 es múltiplo de 1. [12+2=14; 14+2=16”
	Sin justificación	11	No se añadió ningún texto para justificar lo que se respondió.	3:3 “Be (9.012), Mg (24.305) y Ca (40.078).”
Sobre los Contenidos	Hipótesis de Prout	31	Se aplica a aquellas respuestas donde consiguen encontrar triadas y se acepta la hipótesis de Prout.	3:30 “Al, Ga, In. Es una triada porque el sumar la masa atómica de los extremos y dividirlo entre 2, da la masa de en medio, esto según Döbereiner. Además, cumplen con la propuesta de Prout, pues todas sus masas son múltiplos de la masa del Hidrógeno.”
	Isótopos	5	Se reconoce que los valores decimales de las masas atómicas son debido a la existencia de los isótopos.	3:26 “No encontramos triadas que cumplan con ambas condiciones. Porque los datos con los que contamos actualmente toman diferentes referencias, debido a esto varían los datos de las masas atómicas. Además de que ahora se toman en cuenta los isótopos. Por lo que no hay masas expresadas con números enteros”
	Rechazo a Prout	35	Se aplica a aquellas respuestas en que se niega la posibilidad de encontrar triadas de elementos que sean compatibles con la hipótesis de Prout o bien, que desdeñan dicha hipótesis.	3:46 “La triada que elegimos fue la de Cl, Br y I, y si seguimos el principio de Döbereiner, se cumple la relación entre masas. No logramos encontrar una relación con Prout, ya que suponemos que la masa del H=1, por lo que todos los enteros son múltiplos.”

	Sin Prout	4	No se menciona nada sobre la hipótesis de Prout.	3:20 “P, As y Sb. Como propuso Döbereiner, el promedio de sus masas da la masa del de en medio y así mismo al ser metaloides tienen propiedades similares.”
	Sin tríada	23	No se propuso ninguna tríada.	3:76 “A) No hay una tríada, porque los pesos atómicos de los elementos químicos tenían muchos decimales, por lo tanto, lograr que un producto de un número entero es muy complicado. [...]”
	Triada inválida	18	Se aplica a las triadas obtenidas de elementos que se encuentran en el mismo periodo. Otro caso es cuando se propone una tríada en la que no se cumple la relación entre las masas.	3:53 “Li, Be y C. Son múltiplos y la suma de $(Li+C)/2=Be$ ”
	Triada propuesta	30	Se hace la propuesta explícita de una nueva tríada de Döbereiner.	3:89 “Be, Mg y Ca. En este caso no es una tríada que cumple con lo que dijo Döbereiner y Prout ya que la masa atómica de algunas triadas no son múltiplos enteros de la masa atómica del hidrógeno, por lo que los elementos no están hechos de agrupaciones de varios átomos de hidrógeno como dijo Prout.”
	Tríada repetida	23	Aplica a las triadas: Li, Na y K; S, Se y Te; y Ca, Sr y Ba, que aparecen en la actividad D1.	3:16 “S, Se y Te. Existe una relación matemática entre las masas de la tríada y el hidrógeno, tomando éstas como números enteros, sin embargo, consideramos que existe un margen de error, y en el ámbito química no hay una relación.”
Pensamiento Químico	Pensamiento químico	5	Implica pensar en términos de identificación, reactividad y propiedades químicas.	3:20 “P, As y Sb. Como propuso Döbereiner, el promedio de sus masas da la masa del de en medio y así mismo al ser metaloides tienen propiedades similares.”

Uso de Modelos	Aproximado	2	Se reconoce como un atributo positivo que permite validar la hipótesis de Prout.	3:32 “Be, Mg, Ca. Cumple con la relación que propuso Döbereiner [...], igualmente cumple con la propuesta de Prout pues casi da un múltiplo entero del hidrógeno en cada una de sus masas atómicas.”
	Búsqueda de exactitud	9	Implica que se percibe la falta de exactitud numérica en los parámetros, y puede ser considerado como un obstáculo para la fructificación de una idea.	3:95 “No hay una triada que cumpla con ambas propuestas, pues Prout no consideró para su hipótesis las mediciones más exactas que se hicieron posteriormente de las masas, llegando a la conclusión de que no son números enteros.”
	Exclusión de elementos	8	Se identifica la imposibilidad de añadir elementos a la clasificación como una falla del sistema propuesto.	3:81 “Esto no representa mucha utilidad debido a que la regularidad de las triadas se presenta en 9 elementos, ejemplo: $(B+Ga)/2=Al$ es falso.”
	Masas no enteras	26	Se rechaza la hipótesis de Prout porque se reconoce que las masas no tienen valores enteros (o múltiplos del H).	3:94 “No se puede ya que la mayoría de las masas atómicas no son enteros, y Prout lo manejaba con números enteros, ejemplo: El Cloro es 35.5 veces más pesado que el hidrógeno.”
	Redondeo a masas enteras	8	El redondeo de las masas se hace principalmente para validar la hipótesis de Prout. Se asume que se realizó cuando las tríadas tienen números que difícilmente se redondean, como la del Cl.	3:6 “Cloro, Bromo y Yodo. Las masas de los tres son múltiplos de H.”

La Tabla 5. Códigos relacionados con la actividad D3. ordena a los códigos en cuatro temas: los modelos, el argumento, los contenidos y el pensamiento químico. Los códigos sobre el uso de modelos y el argumento cobran importancia, ya que son los que ayudan a articular a los contenidos propios de la actividad, esto es, los conceptos y temas particulares. Se observa que el pensamiento químico apenas y vislumbra, sin embargo, es necesario remarcar que siempre puede aparecer de manera paralela con las actividades.

El análisis de esta actividad fue dirigido por una pregunta: ¿Qué razones llevan a rechazar la hipótesis de Prout? Como se mencionó en el marco teórico, para cuando los

alumnos resuelven estas actividades que corresponden a la unidad 2, ya se les tuvo que haber enseñado que los valores de las masas atómicas dependen de las masas de los isótopos de cada elemento y su abundancia relativa. Así, es deseable que la mayoría de las respuestas hagan referencia al concepto de **Isótopos** para explicar, al menos, por qué la hipótesis de Prout no prevaleció por sí misma. Sin embargo, se observa que esto no es así, el código **Isótopos** cuenta tan sólo con cinco enraizamientos, lo que demuestra una falta de asociación con este concepto por la mayoría de los estudiantes. Por otro lado, son más comunes los casos en que se rechaza la hipótesis de Prout debido a que los elementos poseen **Masas no enteras** (26 enraizamientos).

A diferencia de los análisis de las actividades anteriores, para esta no se presentan los códigos de bajo enraizamiento por separado, ya que se considera que su uso queda aclarado mediante la Tabla 5, sólo es necesario añadir que el contexto en que aparecen siempre va a estar en función de dar argumento al rechazo o la aceptación de la hipótesis de Prout, o para explicar por qué ni dicha hipótesis ni las tríadas de Döbereiner se sobrepusieron al tiempo.

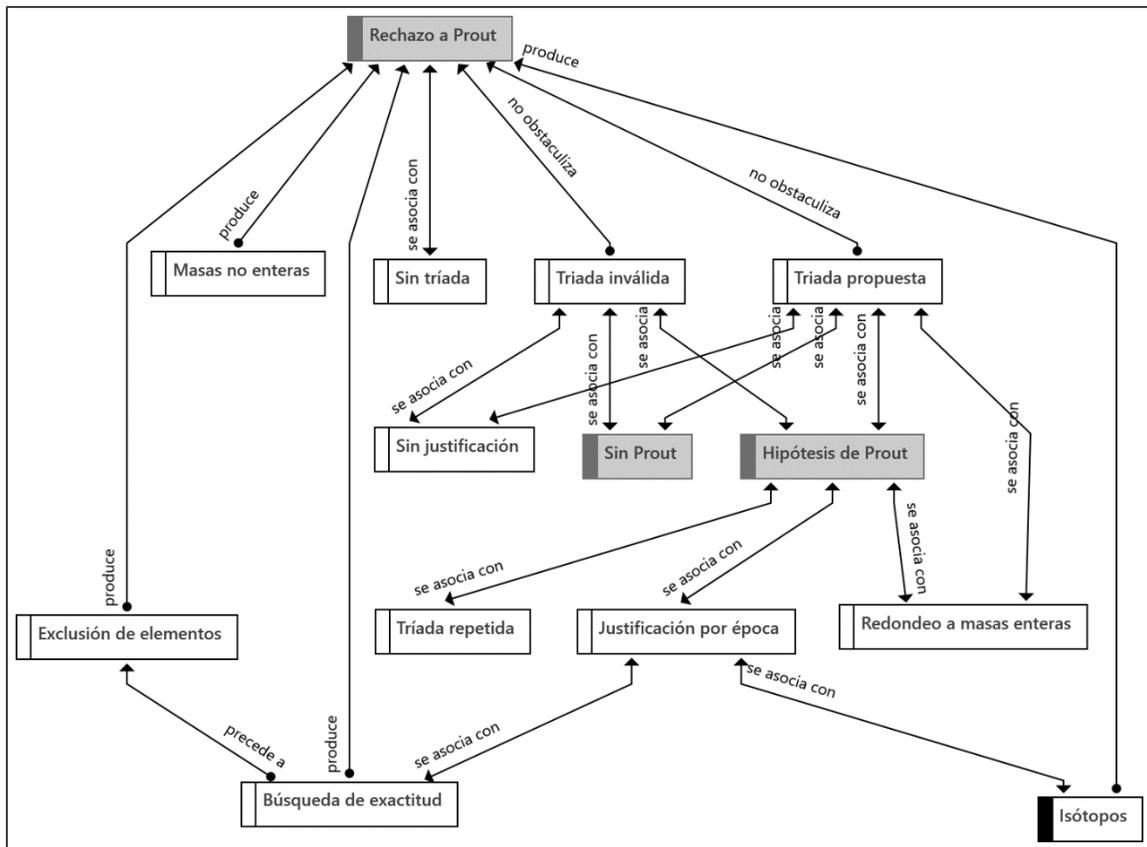


Ilustración 10. Red de códigos que caracterizan a la mayoría de las respuestas en D3

Al igual que para el análisis de D2, se ha optado por condensar el análisis en una red de códigos, la cual se muestra en la Ilustración 10 y que ayuda a tener una representación de la interacción entre los códigos para esta actividad, sin olvidar sus limitaciones. En la red aparecen marcados en gris los tres códigos a partir de los que es posible buscar una respuesta a la pregunta planteada, ya que primero es necesario identificar en cuáles citas sí se presenta un **Rechazo a Prout** y en qué condiciones ocurre, así como aquellas respuestas en las que se admite la **Hipótesis de Prout** como válida. Además, también se cuentan respuestas **Sin Prout**, en las que no se comenta nada al respecto y se apegan a Döbereiner.

Los códigos marcados en gris pueden pensarse como “núcleos” a través de los que se caracterizan a las respuestas. También se observa que estos núcleos pueden compartir características, no se excluyen entre sí, esto se debe al sentido que le dan los estudiantes a cada una. Por ejemplo, si en dos citas se da una **Triada propuesta** donde se cumpla la relación dada por Döbereiner, mientras un grupo de alumnos hace un **Redondeo a masas**

enteras para respaldar la idea de Prout, otro grupo puede indicar que debido a que los elementos de la tríada tienen **Masas no enteras** la idea de Prout no es válida. Lo mismo puede suceder si se da un **Tríada inválida**. Incluso, existen respuestas donde sólo se indican los tres elementos y no se justifica nada más, así como se muestra en la cita 3:3 que ejemplifica el uso del código **Sin justificación**.

Por último, se observa un ciclo que rodea a toda la red que pasa por los códigos **Isótopos** y **Justificación por época**. La mención de la isotopía no siempre conllevó el **Rechazo a Prout**, hubo casos en los que se consideró la época para considerar válida la **Hipótesis de Prout**. Por ejemplo, la cita 3:19 dice: “*N, P y As. Estos tres elementos cumplen con el principio de las triadas de Döbereiner y con el principio general de William Prout. El margen de error existente se debe a que la masa reportada en las tablas periódicas actuales es un promedio con los isótopos.*”, lo que aclara este punto.

Para cerrar este apartado, entonces ¿Qué razones llevan a rechazar la hipótesis de Prout? Básicamente son tres: a) el reconocimiento de que los elementos tienen **Masas no enteras**; b) la **Exclusión de elementos** debido a la **Búsqueda de exactitud** en los valores de masas atómicas; y c) vincular la existencia de los **Isótopos** con los valores de masa atómica relativa. La última razón se considera de mayor peso, y en la sección de discusión se aborda la cuestión de si es posible dirigir las respuestas hacia este argumento.

4.4 Primer actividad relacionada con Newlands (N1)

En esta actividad se solicita a los alumnos que completen una tabla que corresponde con los elementos representativos y la cual busca introducir el concepto de las octavas de Newlands. En las instrucciones se señala que consideren los elementos descubiertos hasta la fecha (1864), para ello se les autoriza el uso de la aplicación de tabla periódica de Merck (Merck KGaA, 2018) en el celular para que consulten los datos históricos.

La codificación de estas respuestas se enfocó principalmente en la imagen de las tablas que llenaron los alumnos, por lo que algunos códigos se aprecian mejor de manera visual, pero resulta difícil ofrecer una imagen nítida y tan pequeña para que quepa en la tabla de códigos, razón por la que se hará una descripción lo más detallada posible de las citas cuando no se cuente con una cita textual clara. El segundo tema de la Tabla 6 se conforma por códigos que resaltan características claves para comprender las respuestas de esta actividad y cuya naturaleza en el fondo puede ser más profunda, sin embargo, eso se verá en el análisis posterior. Los temas restantes son similares a los que se han manejado hasta ahora.

Tabla 6. Códigos relacionados con la actividad N1.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 93)
Argumentación	Sin fundamento	9	Son respuestas que no asocian los conceptos de la actividad en sus enunciados.	4:21 “Los asociamos como familias, ya que estos poseen características similares y seguimos la ley del octeto.”
	Sin justificación	31	No se añadió ningún texto para justificar lo que se hizo.	[En estas citas no se añadió ninguna explicación sobre la forma de resolver la actividad.]

Características del llenado de la tabla de NI	Desvinculación Elemento-Masa	13	Se usa cuando no se respetan los valores de masa de cada elemento y se les atribuyen valores distintos.	4:10 [En esta cita se asignó a los siguientes elementos, los valores de masa que se indican : (As, 47.0), (Se, 48.0), (Br, 51.0), (Rb, 56.0) y (Sr, 57.0).]
	Elemento anacrónico	22	Aplica cuando el llenado de la tabla se realiza con elementos que no habían sido descubiertos para ese entonces.	[En estas respuestas se observan elementos como el Sc, el Ga y el Ge.]
	Llenado parcial	17	Se usa cuando hay espacios vacíos en la tabla, o que sólo contienen números sin indicar los símbolos de los elementos.	[En estas respuestas se aprecian casillas vacías en la tabla. Sin embargo, en algunos casos se puede extraer información, como los cálculos hechos someramente en la cita 4:4]
	Omisión de Ga y Ge	21	Aplica cuando se omite la inclusión de los elementos Ga y Ge en la tabla en los espacios que les “corresponden”.	[Este caso se identifica porque se observan huecos donde deberían ir el Ga y el Ge. A veces se colocan guiones (4:32) o signos de interrogación (4:54)]
	Omisión de valores de masa	23	Aplicar cuando se omiten los valores de masa que acompañan a los símbolos de los elementos.	[En estas respuestas no se coloca ningún valor numérico en las casillas.]
	Periodicidad inadvertida	31	Aplica cuando no se ha considerado la periodicidad de los elementos para el llenado de la tabla.	[Son respuestas en las que no se relaciona a las propiedades de los elementos de acuerdo con las octavas de Newlands.]
	Posible copia de la tabla periódica	13	Se usa cuando el llenado de la tabla parece una mera reproducción de la tabla periódica sin tomar a consideración criterios como los elementos descubiertos hasta 1864.	[En las citas de este código, el Ga y el Ge figuran en la tabla y los valores de masa se expresan con dos decimales.]
	Sustitución de Ti-V por Ga-Ge	4	Se sustituye el par Ga-Ge por los elementos Ti-Cr, u otro	[En estas respuestas se ocupan los espacios que “corresponden” al Ga y al Ge

			par de metales de transición del cuarto periodo.	con metales de transición en orden creciente de masa y no se considera el número de oxidación.]
Pensamiento matemático	Elementos consecutivos sin periodicidad	20	Se usa cuando se toman los elementos consecutivos para llenar la tabla sin detenerse a pensar en la periodicidad de las propiedades. Lleva a cometer errores como utilizar los metales de transición en lugar de los elementos representativos.	4:9 “Consideramos que estos son los elementos que seguían debido a que sus masas atómicas progresan de manera ascendente, siguiendo un orden igual a los elementos posteriores de la tabla.” [En esta cita se colocaron los elementos desde el Sc hasta el Se, omitiendo al Ga y al Ge.]
	Inversión del par Te-I	2	Se usa cuando se invierte el orden del Te y el I en la tabla, priorizando el orden creciente de la masa atómica.	[En estas citas se invierten el Te y el I y se acompañan de sus valores de masa atómica.]
	Relación de masas incorrecta	15	Aplica cuando se intenta dilucidar un patrón numérico entre los valores de las masas que resulta incorrecto.	4:18 “[...], y su masa la calculamos observando la diferencia de masas entre las primeras columnas y sumándola a la de la última columna, y ese resultado lo colocábamos como la masa del elemento que nos faltara, y así sucesivamente, es decir, usamos la diferencia de masa entre las columnas de los dos primeros elementos. Por ejemplo: $Al-B=dif(27.0-10.8=16.2)$ $Al+dif=27.0+16.2=43.2$ ”
	Se ignora el orden creciente	9	Se usa cuando no se considera el orden creciente de masas atómicas para el acomodo de los elementos.	[En estas respuestas se observa que algunos valores de masa decrecen al avanzar en un mismo renglón (a excepción del par Te-I).]
Pensamiento Químico	Desconocimiento de elementos	7	Se asumen propiedades de algunos elementos que no son ciertas, o bien, se pasa por alto la existencia de los elementos que sí cumplen con ciertas propiedades.	4:11 “[...], buscamos en columnas un elemento que tuviera propiedades periódicas parecidas al elemento de arriba y en la fila buscamos un elemento que progresara en sus propiedades.[...]” [En esta respuesta se colocaron

				elementos como la Ag, Pt y Au]
	Identificación de familias	43	Cuando el llenado se hace con los elementos representativos porque se identificaron las familias de la actual tabla periódica.	4:68 “Como las propiedades por cada grupo tienen que ser iguales, para entonces en el grupo 3 y 4 hacían falta elementos por descubrir.” [Se colocaron elementos representativos en las columnas]
	Posible relevancia del número de oxidación	2	Aplica a respuestas en las que parece ser que el número de oxidación tuvo un papel importante para el acomodo de cada elemento. Suele identificarse porque se coloca al Cr antes del Ti en las columnas 3 y 4.	[En estas respuestas se coloca al Cr y al Ti, en ese orden, en los espacios que “corresponden” al Ga y al Ge.]

Los códigos encontrados en la Tabla 6 se agrupan de distintas maneras para dar lugar a distintos tipos de respuestas. A continuación, se presentan los tipos de respuestas (TR) más frecuentes y los códigos que los caracterizan. Los TR se distinguen porque van acompañados por letras mayúsculas: tipo A, tipo B, etc. Se mencionan según su orden de aparición en el documento, el orden alfabético de los TR no tiene nada que ver con importancia ni define alguna jerarquía entre estos.

Además, cada TR puede presentar subtipos que implican alguna variación o grado de desarrollo de una respuesta, para ello se acompaña con una enumeración de la forma: tipo A1, tipo A2, etc. Esta numeración tampoco define una jerarquía entre los subtipos, y de parecerlo, debe entenderse como una mera coincidencia.

La Tabla 7 muestra los códigos a través de los cuales se pueden caracterizar a las respuestas del tipo A. El código central y necesario para formar este tipo de respuestas es la **Relación de masas incorrecta**, y la **Desvinculación de elemento-masa** se encuentra contenida en el primero. Estos dos códigos son irreductibles entre sí, ya que corresponden a dos sucesos distintos pero relacionados fuertemente. La **Relación de masas incorrecta**

implica que se priorizó algún patrón numérico en las masas atómicas, el cual es una extrapolación de las tríadas de Döbereiner.

Tabla 7. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo A para N1.

	Desvinculación elemento-masa (13)	Relación de masas incorrecta (15)
Desvinculación elemento-masa (13)		13
Identificación de familias (42)	8	8
Llenado parcial (17)	8	8
Periodicidad inadvertida (31)	3	4

Por ejemplo, en la tabla de la Actividad 4 (N1) que se encuentra en el Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica, es común que se considere al Sodio y al Potasio como los primeros dos elementos de una tríada, la cual se complementarían con el Rubidio como tercer elemento, y se hace el despeje de la relación de Döbereiner para asignar un valor de masa atómica al Rubidio alrededor de 55.0. En ese momento, aparece la **Desvinculación de elemento-masa**, ya que el valor de la masa atómica que en realidad le corresponde al Rubidio es de 85.5. Este procedimiento es realizado por los estudiantes para cada espacio en blanco hasta completar la tabla, siguiendo el mismo patrón numérico.

Otro patrón que se encontró, para determinar las masas, fue a partir de una diferencia, como la descrita en la cita 4:18 para ejemplificar el uso del código **Relación de masas incorrecta** en la Tabla 6. Cualquiera de estos dos casos marca la base para referir a las respuestas de tipo A.

Aquellos casos que coocurren con la **Identificación de familias**, conservan los símbolos de los elementos de las familias representativas de la tabla periódica, pero con masas erróneas. A este caso se le asigna el tipo A1.

En las coocurrencias con el código **Periodicidad inadvertida**, los estudiantes colocan los símbolos de los elementos que están después del Calcio, de acuerdo con su orden de aparición en la tabla periódica, y no se considera el hecho de que las columnas deben

contener elementos que tienen ciertas similitudes (como se indica en las instrucciones de la actividad). Este tipo de respuestas conforman el subtipo A2. Se observa que la **Identificación de familias** y la **Periodicidad inadvertida** son códigos que se excluyen entre sí.

El código de **Llenado parcial** puede presentarse en cualquiera de los subtipos A1 o A2, lo que se observó es que hay respuestas en las que pareciera que los alumnos no saben a qué elementos asignarles las masas que ya determinaron con la relación numérica, por lo que dejan la tabla “a medio llenar”. Por otro lado, la diferencia entre los enraizamientos de la **Relación de masas incorrecta** (15 enr.) y la **Desvinculación de elemento-masa** (13 enr.) corresponde a dos casos en los que sólo se indicaron los valores de masa y la forma de obtenerlos, pero sin asignar a esos valores el símbolo de algún elemento químico.

Esto último da pie a pensar que las respuestas de tipo A siguen enfocadas en el pensamiento matemático, y que incluso este se sobrepone al pensamiento químico, es decir, los criterios numéricos adquieren mayor importancia que los criterios químicos para la clasificación de los elementos. La cita 4:17 brinda soporte a este punto, pues los alumnos en lugar de incluir el símbolo de algún elemento concreto para completar la columna tres y cuatro, indican a los elementos “ x , z , θ y γ ”, es decir, podría ser cualquier elemento, siempre y cuando cumpla con la relación numérica entre las masas atómicas.

Para terminar con las respuestas de tipo A, también se aprecia el marcado carácter predictivo de éstas. Si bien, estas predicciones fallan, al final los estudiantes confían en que los cálculos numéricos les ayudarán a identificar los elementos faltantes. Así, se puede afirmar que, las respuestas de tipo A al menos estimulan las habilidades de pensamiento matemático y promueven la búsqueda de predicciones a través de modelos, sin embargo, esto sucede con un menoscabo en el desarrollo del pensamiento químico.

La Tabla 8 muestra los códigos que caracterizan a las respuestas del tipo B. Estas se reconocen por las 19 coocurrencias entre los **Elementos consecutivos sin periodicidad** y la **Periodicidad inadvertida**. En este tipo de respuestas se identifica que después del Ca, se comienzan a colocar los elementos posteriores de manera consecutiva, a partir del Ti, o en algunos casos a partir del Sc, aunque el elemento no se había descubierto para el año de 1864, lo que queda indicado a través de los cuatro enraizamientos con el **Elemento anacrónico**.

En estas respuestas no se incluye ningún aspecto sobre las octavas de Newlands, razón por la que los elementos con que se completa la tabla no mantienen ninguna relación periódica.

Tabla 8. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo B para N1.

	Elementos consecutivos sin periodicidad (20)	Periodicidad inadvertida (31)
Elementos consecutivos sin periodicidad (20)		19
Elemento anacrónico (22)	4	4

Es difícil generalizar subtipos del tipo B, ya que se podría plantear casi un subtipo por cada una de las 19 respuestas que abarca. Existen variaciones casi en cada respuesta, y se exponen sólo algunas. El caso más simple es el que se ve en la cita 4:31, en la que se colocaron los elementos desde el Ti hasta el Br, omitiendo al Ga y al Ge, ocupando así las 12 casillas. Con esta forma, el As, Se y Br quedan ubicados en la columna 5, 6 y 7 respectivamente, lo que puede interpretarse como correcto, sin embargo, no es resultado de un razonamiento adecuado, sino que es una consecuencia de colocar los elementos en orden creciente con la única restricción de que estos hayan sido descubiertos para 1864. Por ejemplo, en la cita 4:9 se hace casi lo mismo, pero incluyendo al Sc, por lo que la serie se desplaza y termina con el Se, de esta forma, ningún elemento queda ya en la columna que le correspondería.

En otra respuesta como la de la cita 4:44, sólo se colocan “metales de transición”, es decir, se inicia con el Ti hasta llegar al Zn, y en las tres casillas restantes se pone al Y, Zr y Nb, lo que indica que los estudiantes bajaron un periodo y continuaron con los “metales de transición”. En otras respuestas como la de la cita 4:41, la serie de elementos va desde el Sc hasta el Mn, y la fila de abajo queda vacía, esto es, hay un **Llenado parcial** de la tabla, y debido a que no hay justificación, no se aclara si la actividad está incompleta porque los estudiantes dudaron en seguir ese patrón o si fue por algún otro motivo.

Así, se aprecia que el tipo B está conformado por casos que presentan variaciones en torno a una idea central, el orden ascendente de las masas atómicas. El criterio fundamental

detrás de este tipo de respuestas sigue siendo numérico, sin embargo, no hay una relación matemática como en las respuestas de tipo A. Ni en el tipo A ni en el tipo B se aprecia la relevancia de criterios químicos para la clasificación de los elementos, algo que para John Newlands sí lo era. Nuevamente el pensamiento matemático se sobrepone al pensamiento químico.

Tabla 9. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo C para N1.

	Omisión de Ga y Ge (21)	Identificación de familias (43)
Omisión de Ga y Ge (21)		21
Omisión de valores de masa (23)	4	9
Se ignora el orden creciente (9)	5	1

La Tabla 9 presenta los códigos que caracterizan las respuestas del tipo C. Estas están dirigidas por la **Omisión de Ga y Ge**, acompañada de la **Identificación de familias** para proponer a los elementos que completan la tabla. Así, el tipo C se identifica por las 21 coocurrencias entre estos dos códigos. Este es un tipo de respuesta que considera criterios químicos y numéricos. Por un lado, se colocan elementos que comparten características con los otros elementos de una misma columna (familias), y por el otro lado, se consideran los valores de masa atómica y se ordenan de manera creciente. Cuando sucede esto, y además se filtran los elementos descubiertos hasta 1864, los espacios que se podrían asignar al Galio y al Germanio quedan vacíos. Esto representa a las respuestas de tipo C1.

En cambio, cuando **Se ignora el orden creciente** coocurre con la **Omisión de Ga y Ge**, lo que sucede es que los elementos de las columnas 3 y 4 se suben un renglón, lo que coloca al In y al Sn antes del As, y al Tl y al Pb antes del Sb, esto provoca un aumento brusco en los valores de masa atómica acompañado del respectivo descenso. Sin embargo, las subidas y bajadas de los valores de masa no se ven de manera explícita porque en estas respuestas normalmente se da una **Omisión de los valores de masa**. Estas respuestas describen al tipo C2. En estos casos, no se aprecia una apertura por parte de los alumnos

hacia la búsqueda de predicciones, los huecos deben ser rellenados con elementos ya conocidos.

Las respuestas de tipo C muestran una integración del pensamiento matemático con el pensamiento químico, pues a la vez que se guían por un criterio de orden (con las reservas del tipo C2) entre los valores de masa, se consideran las características de los elementos para poder clasificarlos e identificarlos, lo que da lugar a la creación de familias mientras también se da una aproximación a la noción de “periodo” en el sentido actual. Además, se insiste en que otro factor que entra en juego para este tipo de respuestas es la aceptación de predicciones, que se ven indirectamente en los “huecos” de la tabla, lo que permite relacionar aspectos de la naturaleza de la ciencia con esta actividad.

Tabla 10. Códigos que caracterizan a las respuestas tipo D para N1.

	Posible copia de la tabla periódica (13)
Elemento anacrónico (22)	12
Sin justificación (31)	5
Sin fundamento (7)	3

En la tabla 10 se hace una descripción que corresponden al último tipo de respuestas encontrado, el tipo D. Las respuestas llevan a pensar que estos estudiantes se limitaron a copiar los elementos representativos de la tabla

periódica moderna sin pasarlos por ningún filtro y ningún razonamiento. De los 13 enraizamientos que son una **Posible copia de la tabla periódica**, 12 coocurren con **Elemento anacrónico**, es decir, se agregó al Ga y al Ge, lo que indica que, en primer lugar, no se filtran los elementos existentes hasta 1864. Además, otra característica común es el uso de valores de masa con dos decimales. También se encontraron 5 respuestas **Sin justificación** y otras 3 **Sin fundamento**.

Como ejemplo, la cita 4:21 indica “*Los asociamos como familias, ya que estos poseen características similares y seguimos la ley del octeto.*”. ¿Cómo es posible hacer un llenado acorde con las octavas de Newlands siguiendo la ley del octeto? Ya fuera por una confusión entre las palabras que aluden al número ocho, o por una verdadera convicción, las dudas surgen a raíz de un concepto que no es necesario para resolver esta actividad. Y aún así, esta

respuesta muestra una tabla con todas las casillas llenas, incluyendo al galio y al germanio y valores de masa con dos decimales.

No obstante, el hecho de que las respuestas de tipo D sean una copia directa de la tabla periódica sólo se mantiene como una posibilidad, pues es difícil ir más allá de una afirmación tentativa. En cuanto a las habilidades desarrolladas, se podría mencionar al pensamiento químico en tanto se identificaron familias, y al pensamiento matemático en tanto se mantiene el orden creciente, sin embargo, de ser cierto que fueran una copia de la tabla periódica, sólo se puede hablar de la facilidad para identificar patrones, visto como un atisbo del pensamiento matemático.

A partir de los cuatro TR's propuestos se contabilizan 66 respuestas, lo que significa que 27 respuestas no están contenidas en ninguna categoría más extensa. Como se ha intentado mostrar en las actividades analizadas antes, siempre hay diversidad en las respuestas, incluso dentro de los mismos tipos se mencionó que estas presentan variaciones.

Así, de las 27 respuestas restantes, algunas son casos más específicos como los del código **Posible relevancia del número de oxidación** (2 enr.), en la cual se observa que los alumnos priorizan esta característica para tomar una decisión sobre qué elementos utilizar en el llenado de la tabla. Por ejemplo, en la cita 4:34 se colocan metales de transición, pero en lugar de hacerlo de forma consecutiva como en el tipo B, estos son seleccionados por su número de oxidación para que empaten con los otros elementos de una misma columna.

En las respuestas codificadas con **Sustitución de Ti-V por Ga-Ge** (4 enr.) se colocan en los sitios del Ga y del Ge a un par de metales de transición, como el Ti y el V, o el Ti y el Mn, lo que tienen en común estos pares de elementos metálicos es que su orden de masa es creciente y no se puede concluir nada respecto a si se consideró el número de oxidación o no.

Otro caso que resulta interesante es la **Inversión del par Te-I** (2 enr.), que indica una priorización del criterio ascendente sobre las masas atómicas antes que sus atributos desde la química. Esto da lugar a hablar del último código que falta, el **Desconocimiento de elementos** (7enr.), a través del cual se pueden encontrar justificaciones válidas para el llenado de la tabla, pero el desconocimiento de los elementos no permite que esta ideas se vean

reflejadas. Por ejemplo, en la cita 4:12 se menciona: “*Según nosotros, acomodamos los elementos por periodo según su masa atómica y por familia acomodamos metales con metales y los gases al final, dejamos vacías dos casillas porque creemos que de los elementos conocidos no había ninguno que encajara.*”, y a pesar de que dicen que se guían por las familias, colocan al hierro y al mercurio en la columna 3, al cobre y al oro en la columna 4, al plomo debajo del arsénico en la quinta columna, y las dos casillas vacías de las que hablan son las de la columna 6.

Para finalizar este apartado, se enfatiza que las cuatro tipologías encontradas se desplazan entre el desarrollo del pensamiento matemático y el pensamiento químico, siendo las respuestas del tipo C las más “equilibradas”. Las cuestiones relacionadas a los modelos y la naturaleza de la ciencia se mantienen distantes, y la argumentación parece que casi carece de importancia para la resolución de esta actividad. En la sección de discusión se trata el asunto de si vale la pena modificar la actividad, ya sea para dirigirla hacia respuestas del tipo C, o bien, para integrar mejor la argumentación.

4.5 Segunda actividad relacionada con Newlands (N2)

Esta actividad cierra con las actividades que abordan las octavas de Newlands. Para ello se les pide a los estudiantes que argumenten mediante una rejilla de argumentación de Toulmin sobre la importancia que tuvo el modelo de las octavas, y se sugiere la siguiente premisa (D): “El modelo de las octavas de Newlands fue fundamental para el desarrollo de la tabla periódica”. Esta actividad sólo se realizó en los grupos de teoría, de los semestres 2016-1, 2017-1, 2018-1 y 2020-1, lo que explica el bajo número de citas en comparación con las otras actividades.

Tabla 11. Códigos relacionados con la actividad N2.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 71)
Argumentación	RAT coherente	52	Existe coherencia entre los enunciados de la RAT consigo mismos y con los hechos.	5:19 “G: ya que permitió ordenar en columnas los elementos con propiedades similares; S: a causa del ordenamiento progresivo en renglones de 7 elementos tomando como referencia sus masas atómicas, basado en el orden que dio Newlands en 1864; C: entonces el modelo de las octavas permitía saber que los elementos ubicados en una misma columna tienen propiedades similares; R: a menos que se tomen en cuenta los elementos que hoy en día se llaman metales de transición.”
	RAT incompleta	5	Se usa cuando falta al menos una parte en la estructura del argumento.	5:60 “C: entonces podemos deducir los siguientes elementos conforme a su masa y propiedades; R: a menos que no haya coincidencia entre unos y otros.”
	Sin fundamento	4	Son respuestas que no asocian los conceptos de la actividad en sus enunciados.	5:27 “[...]; G:ya que todos los elementos tienen masas atómicas distintas; S:a causa cada uno de

				los elementos tienen una estructura definida; [...]”
Pensamiento Matemático	Inversión del par Te-I	2	Aplica cuando se reconoce la ruptura en estos dos elementos del orden creciente de masas.	5:14 “[...]”; R: a menos que se tomen en cuenta los metales de transición porque rompen con la periodicidad, y los elementos Te y I donde disminuye la masa atómica.”
	Masa atómica	27	Resalta la importancia que se le da a la masa atómica como parámetro para la clasificación.	5:12 “G: ya que este modelo agrupa los elementos en columnas (grupos) y periodos (renglones) y con masa atómica creciente como la que actualmente tenemos; S: a causa de que ya se conocían masas atómicas de algunos elementos y le sirvió de pista para ordenarlos de manera creciente; [...]”
	Orden	33	Aplica cuando se habla del orden creciente según la masa atómica, lo que da una posición a los elementos para facilitar su identificación.	5:50 “C: entonces se pudieron ordenar los elementos de la tabla periódica; G: ya que se ordenaron en familias de acuerdo con sus propiedades semejantes y en periodos de acuerdo con su masa atómica; [...]”
Pensamiento Químico	Identificación de familias	32	Aplica cuando se identifica en el sistema de clasificación a las familias o grupos de elementos, en el sentido actual.	5:9 “G: ya que los periodos y los grupos se siguen acomodando de esa manera; S: a causa de las propiedades de los elementos; [...]”
	Periodicidad	30	Aplica en aquellas respuestas donde se menciona la periodicidad de las propiedades o los periodos de forma directa.	5:69 “C: por lo que determinó la existencia de una periodicidad entre los elementos; G: debido a que estableció una relación entre las masas atómicas relativas de los elementos; S: ya que antes había observado que las triadas de elementos, los elementos tenían propiedades similares; R: a menos que la periodicidad no esté determinada por el orden creciente de las masas atómicas.”
	Metales de transición	4	Se identifica la dificultad inherente de los metales	5:13 “[...]”; S: a causa de que los elementos están en orden creciente de acuerdo con su masa atómica a su vez se relacionan conforme a sus

			de transición para su clasificación.	propiedades; [...] ; R: a menos que consideremos que existen problemas al acomodar los elementos sucesores del calcio, si sólo utilizamos este patrón.”
	Propiedades similares	45	Aplica a las respuestas en las que se identifica la importancia de la similitud de propiedades para el agrupamiento de elementos. También se le puede identificar con "características".	5:18 “[...]; S: a causa de que fue el primer modelo que agrupó a los elementos de acuerdo con 2 criterios: la similitud de sus propiedades químicas y su respectivo peso atómico. El prime criterio era visible en las columnas y el segundo en los renglones formados por 7 elementos en orden ascendente de masa atómica.; [...].”
Uso de Modelos	Clasificación	22	Se reconoce la importancia de una clasificación en sentido general para los elementos químicos. También se le identifica con el verbo agrupar u organizar.	5:36 “C: entonces innovó al crear un sistema de clasificación más acertado al apegarse a las propiedades y características de los elementos; [...].”
	Descubrimiento de elementos	20	Aplica para respuestas en las que los alumnos le atribuyen valor al descubrimiento de nuevos elementos.	5:32 “C: entonces la tabla periódica actual está basada en el modelo de Newlands; [...] ; R:a menos que consideremos los elementos radiactivos, los lantánidos y actínidos.”
	Döbereiner	10	Se usa cuando se reconoce el aporte de las ideas de Döbereiner en los sistemas de clasificación posteriores.	5:59 “[...]; G: ya que tomaba en cuenta la relación de masa atómica y propiedades químicas de los elementos; S: a causa de las triadas antes propuestas que relacionaban la masa atómica e ideas de similitudes químicas.”

	Exclusión del Hidrógeno	5	Aplica cuando se reconoce al hidrógeno como un elemento esencial para refutar a las octavas de Newlands.	5:25 “C: entonces la tabla periódica está ordenada cada 8 elementos conforme su masa creciente; G:ya que encontró similitudes cada 8 elementos; S:a causa de que los ordenó conforme al crecimiento de su masa; R:a menos que nuevos elementos y el H fueran incluidos.”
	Gases nobles	8	Se hace la mención de los gases nobles. Es un caso particular del “Descubrimiento de elementos”.	5:27 “C: entonces hasta la fecha los elementos siguen ordenados en orden ascendente respecto a sus masas; [...]; R:a menos que consideremos que en la época contemporánea ya existen los gases nobles.”
	Modelo	19	Aplica cuando los estudiantes hacen alusión al término “modelo” para referir a los sistemas de clasificación.	5:2 “G: ya que con este modelo se mantenía una relación entre la posición de los elementos; S:a causa del modelo de las triadas y de las ideas de Prout; [...].”
	Notas musicales	8	Se retoma la idea de las notas o la escala musicales.	5:26 “C: entonces la tabla periódica está constituida por 7 periodos; G:ya que una octava está constituida de 7 notas; S:a causa de las octavas que tienen do, re, mi, fa, sol, la, si; R:a menos que contemplen la tabla periódica actual.”
	Octavas de Newlands	31	Aplica a respuestas en las que se contempla a las octavas para desarrollar el argumento.	5:58 “[...]; S: a causa de la ley de las octavas y la similitud de sus propiedades; R: a menos que el primer y el octavo elemento no fueran similares.”

	Tabla	29	Aplica cuando se identifica a la tabla como sistema de organización de los elementos, incluyendo aquellos casos en que se habla tal cual de la tabla periódica.	5:8 “[...]; S: a causa de que, en los renglones, los elementos tienen propiedades que varían progresivamente, y en las columnas los elementos comparten propiedades muy similares; C: entonces se podría considerar a este modelo como la primera tabla periódica; [...]”
	Sin respuesta	11	Se usa cuando no se añadió ninguna respuesta.	

Esta actividad es similar a D2, por lo que el análisis nuevamente será dividido en una primera parte para tratar la argumentación, y la segunda se deja para ahondar en el análisis de los códigos restantes.

Para analizar la argumentación se utilizaron los mismos códigos que para D2, sin embargo, no todos mostraron codificaciones. En general, es posible apreciar que la calidad de las rejillas de argumentación de Toulmin mejoró, ya que 52 respuestas correspondieron con una **RAT coherente**, cuatro fueron **Sin fundamento** y otras cinco fueron una **RAT incompleta**. No obstante, se tuvieron 11 citas **Sin respuesta**.

En casi todos los documentos aparecen equipos que no contestan las actividades, pero son excepciones contadas. Por otro lado, el hecho de que 11 equipos no respondieron esta actividad puede indicar que: 1) son estudiantes que están teniendo dificultades para argumentar; 2) los estudiantes deliberadamente omiten esta actividad; o bien, 3) se debe a una combinación de las dos primeras opciones.

Cualquiera de los tres escenarios es preocupante. El primero, por las razones que fueron mencionadas en la sección 2.4.1. El segundo caso lo es porque indica un desinterés y falta de compromiso por parte de los alumnos, lo que pone en riesgo el objetivo de este tipo de actividades que buscan desarrollar la habilidad para argumentar, e incluso, puede llegar a afectar en la resolución de las siguientes actividades de la secuencia didáctica. En el tercer caso, se une dicho desinterés con la dificultad, lo que empeora la situación. En la sección de discusión se abordará de nuevo este punto, tras haber analizado todas las actividades que involucran la argumentación.

En resumen, aquellos estudiantes que responden, en general lo hacen bien, argumentando de manera coherente; una parte de los alumnos presentan deficiencias en sus respuestas (poco más del 10%), y otro porcentaje considerable (cerca del 15%) simplemente no atiende a la actividad.

Para aquellos alumnos que sí contestaron, se cuentan cinco códigos que comparten una peculiaridad, y es que todos llegan a usarse para escribir las refutaciones en las RAT. **Descubrimiento de elementos** (20 enr.), **Gases nobles** (8 enr.), **Exclusión del Hidrógeno** (5 enr.), **Inversión del par Te-I** (2 enr.) y **Metales de transición** (2 enr.). Se observa que el caso de los **Gases nobles** es un caso especial que involucra el **Descubrimiento de elementos**, sin embargo, se codificó un número de veces considerable.

Debido al planteamiento de las octavas hecho por Newlands, se tienen tres puntos clave para su refutación y que son aprovechados por los estudiantes. El primero involucra la expansión de las octavas, por ejemplo, una nueva familia como la de los **Gases nobles**, implica que las octavas se volverían novenas, lo que invalidaría de forma automática la periodicidad de cada ocho elementos. En la sección 2.1.3 se mencionó que Newlands no veía problemas con la expansión de los periodos, ya que la periodicidad era un hecho, sin embargo, este dato no lo conocen los alumnos, así que este punto es muy válido para hacer una refutación. Asimismo, intentar acomodar a los elementos por octavas incluyendo a los **Metales de transición** es un problema del que también se valen los alumnos, además del **Descubrimiento de elementos** nuevos, tal como lo indica la cita 5:32 en la Tabla 11, o la cita 5:4: “[...]; R: a menos que se tome en cuenta a los actínidos y lantánidos.”

Otro “punto flaco” de las octavas es el orden creciente de las masas. Así, cuando los alumnos priorizan dicho orden y se dan cuenta de lo que sucede con el par Te-I, encuentran un motivo para refutar esta propuesta de clasificación. Y de la misma manera se puede considerar un problema a la **Exclusión del hidrógeno** en el sistema de Newlands.

Por otro lado, existen tres códigos a los que es preciso tratar por separado: **Notas musicales** (8 enr.), **Döbereiner** (10 enr.) y **Modelo** (19 enr.).

En ocho citas se retoma la asociación de las octavas de Newlands con las **Notas musicales**. Si bien, este detalle aporta poco al desarrollo de habilidades de pensamiento científico, sí puede ser un apoyo a los puntos 2 y 6 del listado que aparece en la sección 2.3. La conexión con la música permite ofrecer un mayor significado a aquellos estudiantes que tengan una afición por esta, y a la vez, vincula dos disciplinas distintas, la química y la música, manifestando así, una fusión entre la ciencia y el arte.

También, en diez respuestas se menciona la importancia que tuvo una propuesta anterior a Newlands, esto es, las tríadas de **Döbereiner**. Aquí comienza a apreciarse el hilo conductor de la secuencia didáctica, que algunos estudiantes tienen presente al ir contestando las actividades, y así, la historia de la ciencia cumple con una función integradora.

Por otro lado, se tiene al código **Modelo**. Aquí surgen dos cuestiones. ¿Los estudiantes realmente identifican modelos o sólo incorporan la palabra a su léxico debido a la aparición que tiene en las instrucciones de las actividades? Y si a esta cuestión resulta el segundo caso, ¿esto puede tener de alguna utilidad en el aula? Estas preguntas se retoman en la sección de discusión.

Para las respuestas de esta actividad se encontraron ocho códigos de presencia muy marcada: **Clasificación** (22 enr.), **Identificación de familias** (32 enr.), **Masa atómica** (27 enr.), **Octavas de Newlands** (31 enr.), **Orden** (33 enr.), **Periodicidad** (30 enr.), **Propiedades similares** (45 enr.) y **Tabla** (29 enr.). En la Tabla 12 se encuentra la matriz de coocurrencias entre estos ocho códigos para la actividad N2.

Tabla 12. Matriz de coocurrencias para los códigos de la actividad N2.

	Clasificación (22)	Masa atómica (27)	Tabla (29)	Periodicidad (30)	Octavas de Newlands (31)	Identificación de Familias (32)	Orden (33)
Propiedades similares (45)	20	19	21	24	26	26	27
Orden (33)	12	20	16	19	18	16	
Identificación de Familias (32)	15	12	14	24	17		
Octavas de Newlands (31)	12	12	15	14			
Periodicidad (30)	13	13	14				
Tabla (29)	9	13					
Masa atómica (27)	10						

Se observa que todos los códigos de la Tabla 12 coocurren entre sí. Estos códigos pueden considerarse en tres rubros, independientes de los temas a los que pertenecen en la Tabla 11, pero relacionados:

- I. Sobre los fenómenos: **Identificación de familias, Periodicidad y Propiedades similares**. Se sabe que las propiedades, tanto físicas como químicas de los elementos, presentan ciertas regularidades y similitudes. A través de la regularidad se advierte la periodicidad, y a través de las similitudes se conforman las familias.
- II. Sobre el orden: Referido al criterio que organiza a los elementos acorde con la variación de su **Masa atómica en Orden** creciente, y que les dispone una posición en un sistema de clasificación.
- III. Sobre la integración: Al clasificar se forman agrupaciones de algo. La **Clasificación** es una operación abstracta, que se aplica al identificar familias de elementos a través de la similitud entre sus propiedades. Uno de los productos obtenidos al clasificar a los elementos fue el modelo de las **Octavas de Newlands**, el cual se presenta con una **Tabla**. Las tablas conseguidas a través de una clasificación de los elementos integran a las familias y los periodos, y los ordenan con base en un criterio como la masa atómica creciente.

Es común encontrar en las respuestas la expresión, “los elementos se agrupan en grupos y periodos”, como en la cita 5:30: “*C: entonces se pudieron agrupar los elementos en grupos y periodos; [...].*”. Pareciera que los estudiantes incurren en un pleonasma, pero no es así. De acuerdo con lo mencionado en III, “agrupar” refiere a la acción que se está haciendo, es sinónimo de “clasificar”, mientras que “grupos” es el concepto con el que la mayoría de las personas con formación en química asocian a las columnas de la tabla periódica. Así, las agrupaciones se pueden dar en distinta manera, y el desarrollo histórico facilita el conocimiento de esas distintas maneras, se puede agrupar en tríadas (Döbereiner), en octavas (Newlands), o en familias (concepción actual). Bajo esta consideración, no es repetitivo afirmar, como en 5:12: “*G: ya que este modelo agrupa los elementos en columnas*

(grupos) y periodos (renglones) y con masa atómica creciente como la que actualmente tenemos; [...]”.

Continuando con la cita 5:12, también se observa como emerge II, siendo el criterio de orden independiente a los grupos y periodos de I. Además, “*este modelo*” refiere a III, incorporando la agrupación y el orden en un mismo sistema.

Dejando claros los rubros que orquestan la función de los códigos en las respuestas, se facilita la interpretación de las coocurrencias. No se analizará a detalle las 28 que hay en la tabla, sino que sólo se expondrán algunas, y se adicionan comentarios particulares sobre algunos códigos.

Octavas de Newlands se fusionó con código llamado **Ley de Newlands**, conservando el primero. La diferencia entre esos dos radicaba en que el segundo hacía mención explícita de la palabra “Ley”, sin embargo, no era posible saber si los estudiantes usaban este término con las implicaciones que esto conlleva o si sólo se debía a una cuestión nominal (como con el código **Modelo**).

La **Masa atómica** es un código esencial para articular los enunciados. Si bien, resulta casi obvio que debe surgir el uso de este término debido a que los elementos se ordenan con esta variable, resultó fundamental su codificación. Además, el hecho de que su codificación no fuera la más alta quiere decir que su importancia puede pasarse por alto y no es tan obvia para los estudiantes.

Propiedades similares es el código con mayor enraizamientos (45) y **Clasificación** es el que tiene menos (22), de los ocho códigos representativos en N2. Tampoco sorprende tanto de acuerdo con lo mencionado en I y III, ya que la similitud de propiedades son un hecho, es la información de que se parte, y la mayoría de los alumnos pueden darse cuenta de ello sin tanto esfuerzo. Mientras que clasificar corresponde a la abstracción, la búsqueda de generalidad, y que al menos está dos “niveles” por encima. De la similitud entre propiedades primero se debe pasar por la conformación de grupos, y después viene la

clasificación a partir de esos grupos, así, un menor número de estudiantes encuentra esa abstracción para usarla en su argumento.

En la Ilustración 11 se muestra el diagrama Sankey para las 10 coocurrencias entre cinco códigos seleccionados de la Tabla 12. Estos códigos se seleccionaron por tener un alto número de coocurrencias, y que, además, funcionan para visualizar la relación entre tres códigos sobre los fenómenos (**Identificación de familias, Periodicidad y Propiedades similares**), uno sobre el orden (**Orden**) y uno que es integrador (**Octavas de Newlands**).

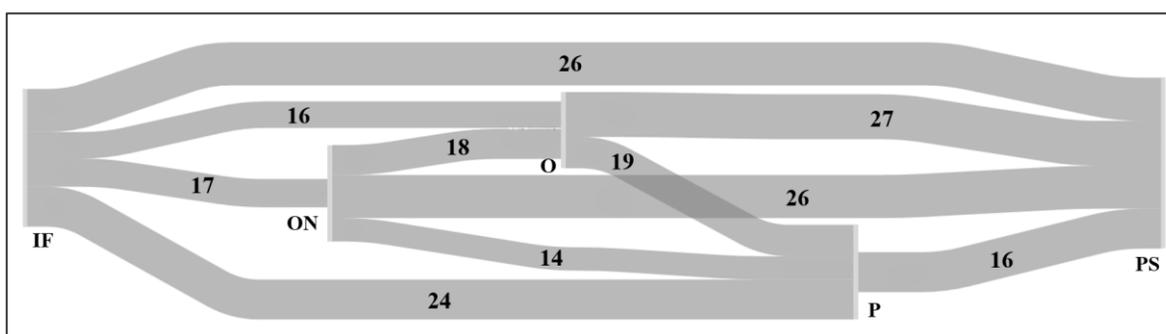


Ilustración 11. Diagrama Sankey de cinco códigos importantes para la actividad N2. Nomenclatura: IF: Identificación de familias; ON: Octavas de Newlands; O: Orden; P: Periodicidad; PS: Propiedades similares.

Los tres puntos esenciales que se deben reconocer en el sistema de Newlands es que los elementos de una misma familia tienen **Propiedades similares**, que estos siguen un **Orden** creciente de masa atómica, y que al hacer esto, es posible encontrar la **Periodicidad** que siguen los elementos. Así, se obtienen algunas de las coocurrencias más altas de la tabla con **Propiedades similares** que coocurre 24 veces con **Periodicidad** y 27 con **Orden**. Además, se suman las 26 coocurrencias con la **Identificación de familias**, ya que estas se identifican gracias a dichas propiedades.

Otro caso, que es casi obligatorio, es la relación entre la **Periodicidad** y la **Identificación de familias**, con 24 coocurrencias, sin estas dos juntas, es poco probable llegar a concebir un sistema más general, como las octavas de Newlands que requiere de ambas. Otro caso interesante son las 9 coocurrencias entre la **Clasificación** y la **Tabla**, que

tienen el valor más bajo. Ambos códigos son integradores, y como tales, implican un mayor grado de abstracción, el cual un menor número de alumnos es capaz de alcanzar.

Para concluir este apartado, se observa que en esta actividad el pensamiento químico se vuelve el más importante, ya que el problema relacionado con la identificación de los elementos es el que guía a las argumentaciones. Además, se complementa con el pensamiento matemático implicado en el orden numérico de los valores de masa. Respecto al tema de los modelos, se ve que los alumnos logran identificar las condiciones que pueden refutar a las octavas de Newlands, y algunos asimilan la analogía del modelo con la escala musical.

4.6 Primera actividad relacionada con Odling (O1)

Para responder esta actividad, se le presenta a los estudiantes los “grupos naturales” formados por William Odling, condensados en una tabla (véase el Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica). A partir de esta tabla, se les solicita que escriban los óxidos que forman los elementos de los grupos 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 10. Una vez que tienen los óxidos, se les pregunta cómo creen que estos reaccionarían con agua, o si es el caso, con ácido clorhídrico e hidróxido de sodio. Las respuestas tienen que estar justificadas y si es posible, incluir el planteamiento de las reacciones químicas. La justificación es libre y no es necesario que utilicen una rejilla de argumentación de Toulmin.

Esta actividad, al igual que N1 se resuelve en un espacio destinado para ello, y esto dificulta colocar algunas citas directamente en la Tabla 13 debido a que algunos códigos se aplican sobre las imágenes de las respuestas escaneadas. Sin embargo, se replicará el procedimiento de la Tabla 6 para ejemplificar las citas en los casos que sea necesario.

Al responder la actividad, no se les exigen las reacciones a los estudiantes debido a que ese tema aún no se ha visto, ya que corresponde a la Unidad 5 del curso, y se le recuerda al lector que esta secuencia de actividades corresponde a la Unidad 2. También es importante tener en cuenta que los alumnos hacen uso de la tabla periódica para apoyarse en la escritura de los óxidos y fórmulas en general.

El caso de las fórmulas es distinto al de las reacciones. Aunque el tema de nomenclatura se señala en el programa de estudio de la asignatura hasta la Unidad 4, la profesora realiza exámenes semanales de nomenclatura a los estudiantes durante todo el semestre, por lo que se espera que este tema se estudie de manera continua desde que inicia el curso.

Una advertencia que se le hace al lector sobre este apartado es respecto a la aparición del código **Concepción alternativa particular** al final de la Tabla 13. El concepto de “concepción alternativa” no se incluyó en el marco teórico, ya que el propósito de este trabajo no es el estudio de estas concepciones en los estudiantes por sí mismas. Sin embargo, el concepto va a ser auxiliar para el análisis de esta actividad en concreto, ya que además el

código tiene un enraizamiento considerable de 29 unidades. Para definir este concepto que será de utilidad y no entrar mucho en detalle, se retoma la definición dada por Bello: “[Las concepciones alternativas] son construcciones [personales] que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales o conceptos científicos, y para brindar explicaciones, descripciones o predicciones” (2004, p. 210). Además, las concepciones alternativas se caracterizan por no coincidir con las concepciones científicas vigentes.

Tabla 13. Códigos relacionados con la actividad O1.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 110)
Escritura de los óxidos	Asociación 1 a 1	8	Es un caso particular del código "Valencias incongruentes", en el que a los elementos en general se les considera con la fórmula del tipo MO.	[Por ejemplo, en la cita 7:22 se escribe para el grupo 3: NO, PO, AsO, SbO, BiO. Y así lo hacen con todos.]
	Correspondencia de valencia y familias actuales	90	Aplica cuando se consideran las valencias de las familias actuales para las fórmulas de los óxidos.	[En estas respuestas, las fórmulas de los óxidos están escritas de acuerdo con las reglas de nomenclatura actuales, en las respuestas se observan los óxidos más comunes.]
	Correspondencia de valencia y grupos de Odling	5	Es un caso particular del código "Valencias incongruentes", en el que se identifica la valencia con el número de la familia a la que pertenece el elemento.	[Por ejemplo, en la cita 7:51, los óxidos de la familia 13 de la actividad se escriben como: Pd ₂ O ₁₃ , Pt ₂ O ₁₃ y Au ₂ O ₁₃ .]
	Óxido de flúor considerado	52	Se usa cuando los estudiantes escriben el óxido de flúor.	[En estas respuestas se observa el óxido de flúor con los óxidos del grupo 1. Puede ser escrito como F ₂ O (cita 7:20), o como FO cuando se hace una "Asociación 1 a 1" (cita 7:24)]
	Óxidos "por grupos"	82	Se logran identificar los "grupos de óxidos" a través de la proporción	[En estas respuestas se mantienen los óxidos agrupados conforme a la tabla que se les proporciona.]

			elemento-oxígeno de las fórmulas.	
	Óxidos no metálicos omitidos	6	Aplica cuando no se escriben los óxidos de los elementos no metálicos, o bien, de la mayoría de estos.	[Son respuestas en las que se omite a los elementos de los grupos 1, 2 y 3 de la tabla de la actividad que corresponden a la familias de los halógenos, los calcógenos y los pnictógenos respectivamente.]
	Sin fórmulas	2	Aplica cuando no se escriben las fórmulas de los óxidos, sólo sus nombres.	[En estas citas (7:16 y 7:71) sólo se refiere a los óxidos por su nombre textual, por ejemplo: “Óxido de calcio”, “Óxido cúprico”, “Óxido de bromo”, etc.]
	Varios óxidos por elemento	34	Aplica cuando se escriben varios óxidos posibles para algunos elementos.	[En estas respuestas se escriben más de un único óxido para algunos elementos o grupos de elementos. Por ejemplo, la cita 7:27 escribe varios óxidos para los grupos 1, 2, 3 y los metales del grupo 10.]
Reacciones en agua	Dificultad inherente de metales de transición	22	Se usa cuando los alumnos reconocen la dificultad de atribuir un carácter ácido-base a los metales de transición únicamente a partir de reacciones con el agua.	7:35 “Si son metales, forman bases. Si son no metales, forman ácidos. En algunos casos como el Fe_2O_3 no reacciona con agua, pero si reacciona con HCl , esto se debe a que estos óxidos son neutros, y por lo tanto con el agua no reaccionaría a menos que se le agregue HCl o NaOH ”
	Estequiometría y nomenclatura respetadas	32	Aplica cuando las reacciones se escriben con subíndices de fórmulas y coeficientes estequiométricos correctos.	7:29 “En presencia de agua los óxidos metálicos forman hidróxidos, y los óxidos no metálicos forman ácidos. Excepto los elementos del grupo 10, y pueden reaccionar con HCl . $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}$; $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ ”

Generalización de reacciones	3	Aplica cuando se proponen (o se intenta proponer) reacciones generalizadas para explicar la formación de bases o ácidos en general.	7:76 “Si se presenta una reacción ya que forma un ácido si el oxígeno está unido a un no metal y una base si el oxígeno está unido a un metal. $OM + H_2O \rightarrow M(OH)_n$ (base), $FeO + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2$; $ONM + H_2O \rightarrow H_n(NM)O_n$ (ácido), $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ ”
Identificación del carácter ácido-base de los óxidos	85	Surge de la fusión de dos códigos: “Identificación de óxidos metálicos (OM) con bases”: Este código implica que los alumnos reconocieron que la formación de bases se produce al reaccionar OM con agua. “Identificación de óxidos no metálicos (ONM) con ácidos”: Este código implica que los alumnos reconocieron que la formación de disoluciones ácidas se produce al reaccionar ONM con agua.	7:20 “Grupo 1,2,3: Ácidos. Grupos 5,6,7,10: Bases. Los óxidos no metálicos más agua dan ácidos y los óxidos metálicos más agua dan bases.”
Inversión de ácidos y bases	3	Aplica cuando se relaciona a los OM con ácidos y a los ONM con bases.	7:17 “Argumentos: a) En los grupos 1, 2 y 3 son no metales y en presencia de oxígeno forman óxidos básicos y los metales forman óxidos ácidos. b) Los óxidos básicos en presencia de H_2O forman bases y los óxidos ácidos en presencia de H_2O forman oxiácidos.”
Neutralización	10	En estas respuestas se responde a las reacciones con HCl o NaOH para referir a una mera neutralización sin solucionar el problema de los óxidos no solubles.	7:50 “Óxidos metálicos + $H_2O \rightarrow$ Bases. Óxidos no metálicos + $H_2O \rightarrow$ Ácidos. Pueden reaccionar con ácido clorhídrico e hidróxido de sodio para neutralizarse. $Na_2O + H_2O \rightarrow 2NaOH$;

				$\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$; $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$; $\text{H}_2\text{SO}_3 + 2(\text{NaOH}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ ”
	Noción de reacción	10	Se aplica cuando refieren de manera simbólica una reacción química sin escribir una reacción propiamente dicha.	7:58 “No metal + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ácido; Metal + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ base. Al reaccionar se forman ácidos o bases.”
	Omisión de reacciones con HCl o NaOH	45	Aplica cuando no se mencionan las reacciones con HCl o NaOH.	[En estas citas no se encuentra nada referente a dichas reacciones]
	Oxiácidos omitidos	6	Aplica cuando no se considera la formación de oxiácidos al reaccionar los óxidos no metálicos con agua.	7:19 “La mayoría de los elementos son metales y al combinarse con agua forman bases. $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH}$ ”
	Reacciones con errores	30	Aplica cuando se observan errores en los subíndices de las fórmulas, los coeficientes estequiométricos o los reactivos y productos de la reacción.	7:71 “ $\text{BaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ba}(\text{OH}_2) + \text{O}_2$; $4\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{HCl} + 5\text{O}_2$. Los óxidos metálicos reaccionan con agua para formar hidróxidos (bases) y oxígeno. Los anhídridos reaccionan con agua para formar ácidos y oxígeno.”
	Sin reacciones	35	Aplica cuando no se contesta la segunda parte de esta actividad enfocada a las reacciones de los óxidos con agua. También puede aplicar cuando simplemente no se escribieron reacciones, aunque sí hay una respuesta.	7:97 “1. Formarían ácidos. 2. Formarían ácidos y en el telurio formaría un anfótero. 3. Formarían ácidos o anfóteros (As y Sb). 5. Formarían bases. 6. Formarían bases. 7. Formarían bases. 10. Formarían bases.”
	Concepción alternativa particular	29	Aplica cuando se localiza una concepción alternativa específica en la respuesta.	[En estas respuestas se identifican concepciones alternativas de manera particular en la parte de la actividad que corresponde a las reacciones.]

	Sin justificación	14	No se añadió ningún texto para justificar lo que se dice o hizo.	[En estas respuestas no se añadió ningún tipo de explicación.]
--	-------------------	----	--	--

Los temas en que se clasifican los códigos de la Tabla 13 sirven para dividir aquellos que fueron usados en la primera y en la segunda parte de la actividad. Se advierte también que a su vez, estos temas en realidad forman parte de una categoría más amplia, el “Pensamiento químico”. La escritura de los óxidos se asocia con la cuestión de la “Identidad química”, mientras que las reacciones en agua se asocian con la “Relación estructura-propiedades” (véase el listado del apartado 2.4.2 Pensamiento químico), sin profundizar tanto en la “estructura”.

El análisis de la actividad tiene como ejes principales a estos dos conceptos propuestos por Weinrich y Talanquer (2015). Por un lado, se tiene el problema de identificar y nombrar sustancias, así como escribir fórmulas, que corresponden con el nivel de representación simbólico de las sustancias químicas. Por otro lado, se deben identificar fenómenos y reconocer el comportamiento macroscópico de las sustancias, abriendo la pregunta de cómo predecir las propiedades de estas.

Se tienen ocho códigos para la escritura de los óxidos y que se relacionan de forma directa con la categoría de “Identidad química”. Cuatro tienen enraizamientos debajo de las 10 unidades, y otros 4 de presencia más marcada con más de 30 enraizamientos. Las respuestas **Sin fórmulas** (2 enr.) son casos muy particulares en los que los estudiantes no escribieron los óxidos a través de fórmulas y tampoco usaron ninguna regla de nomenclatura actual para asignar los nombres. El código **Óxidos no metálicos omitidos** (6 enr.) se analizará más adelante junto con el código **Oxiácidos omitidos** (6 enr.). Con la **Correspondencia de valencia y grupos de Odling** (6 enr.) los estudiantes asignan valencias muy altas a los elementos de los grupos 10 y 13, no se dan cuenta de que esas valencias no son admisibles para los elementos, y si esto no se aclara en el aula en una discusión posterior, es probable que estas ideas lleguen a generar “concepciones alternativas” que afecten el aprendizaje de las siguientes unidades temáticas de la asignatura. Esto se retoma en la sección de las discusiones. Por su parte, la **Asociación 1 a 1** (8 enr.) es un código en cierta forma

contrario al anterior, ya que en estas respuestas las fórmulas se expresan como si todos los óxidos fueran monóxidos de cada elemento. Se espera que las últimas dos situaciones puedan ser remediadas a través del estudio continuo de la nomenclatura química a lo largo del curso.

Los cuatro códigos de mayor presencia y que describen características de la escritura de los óxidos se muestran en la Ilustración 12 a través de un diagrama Sankey. La **Correspondencia de valencia y familias actuales** (90 enr.) es el más importante de todos, y es señal de que los estudiantes se detienen a comparar la tabla de Odling con la tabla periódica moderna para proponer las fórmulas de los óxidos. Este código fue fusionado con otro código que no aparece en la Tabla 13, llamado **Monóxidos metálicos** y que llegó a tener 16 enraizamientos. Este código se aplicaba sobre respuestas en las que a los elementos de los grupos 6, 7 y 10, que contienen elementos metálicos, se les asocia uno a uno con el oxígeno. Con los grupos 6 y 7 no hay ningún problema, sin embargo el grupo 10 puede ser controvertido, pues la mayoría de los elementos de este grupo forman más óxidos en otras proporciones con el oxígeno (por ejemplo: Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO_2 , etc.). No obstante, los monóxidos de estos metales existen y por eso se decidió fusionar a esos códigos.

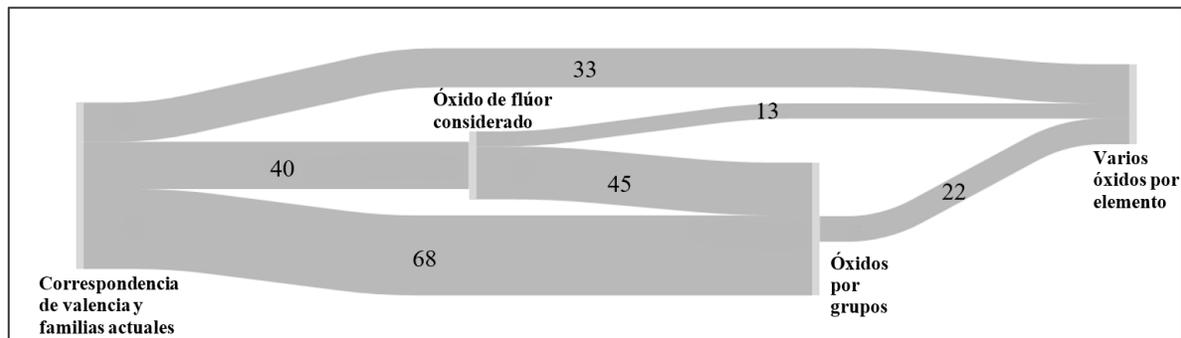


Ilustración 12. Diagrama Sankey de los códigos más relevantes relacionados con la escritura de los óxidos para la actividad O1.

Cuando se acomodan los **Óxidos por grupo** (82 enr.) se ve que los alumnos conservan los óxidos agrupados de acuerdo con la tabla de Odling, facilitando así su identificación y encontrando que los óxidos de cada grupo mantienen la misma proporción con el oxígeno. Esto se resalta con **Varios óxidos por elemento** (34 enr.), cuando los alumnos escriben más de una fórmula para los óxidos de algunos elementos, y se observa

que en los distintos grupos, los elementos comparten más de una única proporción con el oxígeno.

El último de estos códigos es el **Óxido de flúor considerado** (52 enr.), el cual es muy probable que se presente debido al desconocimiento del hecho de que el óxido de flúor es un compuesto que no existe, sino que más bien se trata de un fluoruro. Sin embargo, fue llamativo encontrar citas como la 7:45, donde se escriben distintos “óxidos de flúor”: F_2O_7 , F_2O_3 y F_2O_5 . Es decir, hacen una correlación de este elemento con los otros halógenos, que sí forman diversos óxidos. Hay que considerar que este nombramiento se hace desde una categoría simbólica. Desde luego, sorprende que muchos estudiantes no se den cuenta del error a nivel macroscópico, pero también debe tenerse presente que son estudiantes de primer semestre, y este es justamente el tipo de cosas que aprenden durante los “primeros pasos” de su formación en química.

Se recuerda que el diagrama Sankey, que se muestra en la Ilustración 12, se interpreta de manera equivalente a como se hace con el que aparece en la Ilustración 8 para la actividad D1. Los cuatro códigos de la Ilustración 12 son los más representativos para la primera parte de la actividad O1. A excepción de la consideración del óxido de flúor, son códigos que indican respuestas apropiadas para esta actividad. En la sección de discusiones se retomará la cuestión de si vale la pena incluir un pequeño recordatorio en la actividad para evitar que se incluya al óxido de flúor sin más consideraciones.

Por otro lado, existen otros once códigos que surgieron al analizar la segunda parte de la actividad que involucra a las reacciones de los óxidos con agua, y que se relacionan con la categoría de “Relación estructura-propiedades”. De estos, cinco tienen menos de 12 enraizamientos. Uno es la **Inversión de ácidos y bases** (3 enr.), con el que se observa que los estudiantes asignan a los óxidos no metálicos la capacidad de formar bases en disolución, y a los óxidos metálicos, la de formar disoluciones ácidas. Las citas con **Generalización de reacciones** (3 enr.) son casos en los que los estudiantes demuestran una capacidad de abstracción para escribir las reacciones químicas a través de fórmulas generales.

Existe un problema relacionado con las reacciones de **Neutralización** (10 enr.), si bien, se aprecia el conocimiento que demuestran los estudiantes respecto a la neutralización

de reacciones ácido-base, el propósito de sugerir reacciones con NaOH y HCl es proponer cómo reaccionarían los óxidos no solubles del grupo 10 (metales de transición), y en ningún momento se pide plantear reacciones de neutralización de los ácidos y las bases formadas a partir de los óxidos solubles en agua, por lo que este código puede indicar deficiencias en la comprensión lectora de los estudiantes.

El código **Noción de reacción** (10 enr.) permite identificar respuestas en las que no se escribe ninguna ecuación de reacción química específica, sino que se trata más de un “bosquejo” de reacción, algo meramente indicativo sobre cómo es la reacción a la que se refieren y la mayoría son como las de la cita 7:58 del ejemplo de la Tabla 13. Es importante no confundir este código con el de **Generalización de reacciones**, ya que este último debe partir de las reacciones específicas, para después intercambiar subíndices y coeficientes estequiométricos por términos algebraicos.

El código **Oxiácidos omitidos** (6 enr.) ya se había mencionado antes junto con el código **Óxidos no metálicos omitidos** (6 enr.). Se observa que este par de códigos están estrechamente relacionados, pues ambos implican que se excluyó a los elementos no metálicos (grupos 1, 2 y 3) para responder las actividades, sin embargo, no fue posible fusionarlos. Ambos tienen el mismo número de enraizamientos, y coocurren 5 veces entre ellos, no obstante, las citas 7:17 y 7:71 ayudan a explicar la imposibilidad de la fusión. En la cita 7:17, se escriben los óxidos de los elementos no metálicos, pero no se dice nada acerca de los oxiácidos. Por otro lado, en la cita 7:71 se omite a estos óxidos, pero después se menciona la formación de ácido al reaccionar óxidos no metálicos con agua. Esto puede indicar que los estudiantes no relacionan la categoría de “Identidad química” con la “Relación estructura-propiedades”, y a la vez confirma la existencia de estas dos categorías como independientes entre sí.

Para los seis códigos restantes, se muestran las coocurrencias en la Tabla 14. Esta tabla tiene un formato distinto de las que se han mostrado hasta el momento debido a que fue compactada, ya que había varias casillas con cero coocurrencias, por esto se consideró pertinente reacomodar los renglones y las columnas para minimizar el número de casillas “huecas”.

Tabla 14. Matriz de coocurrencias de los seis códigos de mayor enraizamiento en la segunda parte de la actividad O1.

	Dificultad inherente de metales de transición (22)	Omisión de reacciones con HCl y NaOH (45)	Identificación de carácter ácido-base de los óxidos (85)
Sin reacciones (35)	5		27
Noción de reacción (10)	2	8	9
Reacciones con errores (30)	6	18	19
Estequiometría y nomenclatura respetadas (32)	9	17	31
Identificación del carácter ácido-base de los óxidos (85)	19	38	

Para complementar el análisis de los códigos de esta tabla, se añadió la **Noción de reacción**, así, los primeros cuatro códigos que marcan los renglones permiten saber cómo se escribieron las reacciones: si sólo se dejan indicadas (**Noción de reacción**); si son **Reacciones con errores**; si están escritas correctamente (**Estequiometría y nomenclatura respetadas**); o si no se escribieron (**Sin reacciones**). Como es de esperar, tal como se mencionó del programa de estudios, un número considerable de estudiantes no plantean las reacciones químicas, o no lo hacen correctamente. Sin embargo, que haya 35 citas en las que no se indica ninguna reacción puede llegar a ser un problema, ya que se está hablando de estudiantes que decidieron entrar a carreras de formación en química.

En cuanto a las columnas, la **Dificultad inherente de metales de transición** y la **Omisión de reacciones con HCl y NaOH** son códigos que no presentaron ninguna coocurrencia (algo que ayudó a compactar la tabla), esto es, se excluyen entre sí. Una posible explicación es que si los alumnos se dan cuenta de que los óxidos de los metales del grupo 10 no son solubles en agua ni reaccionan con ella directamente, entonces se ven orillados a

considerar las reacciones con HCl y NaOH para solucionar esta situación. Sin embargo, existen excepciones, ya que hay siete casos en los que se identifica la dificultad asociada con el grupo 10, pero no se escriben las reacciones con HCl y NaOH, de los que cinco son coocurrencias de la **Dificultad inherente de metales de transición con Sin reacciones**, y las otras dos coocurrencias son con la **Noción de reacción**.

Aun así, se observa que el 20% de los alumnos se percataron de la existencia de óxidos que no reaccionan con el agua, esto es, conectaron un fenómeno macroscópico con el desarrollo de la actividad a nivel simbólico. Esto revela procesos cada vez más complejos en el desarrollo del pensamiento químico a través de la secuencia didáctica.

También se observa que el código preponderante en la segunda parte de esta actividad es la **Identificación del carácter ácido-base de los óxidos** con 85 enraizamientos, lo que indica que más del 75% de los estudiantes lograron tener claro uno de los puntos principales: los óxidos metálicos producen disoluciones básicas y los óxidos no metálicos producen disoluciones ácidas.

A continuación, se presentan los últimos dos códigos de la Tabla 13. **Sin justificación** (14 enr.) se usó para aquellas respuestas en las que los estudiantes se limitaron a responder la actividad sin dar explicaciones de sus ideas. El otro código corresponde con la **Concepción alternativa particular** (29 enr.) que puede presentarse en cada equipo y la mejor manera que se encontró para codificarlas fue a través de este código deductivo obtenido de la bibliografía. Estas son variadas y se dan algunos ejemplos. En la cita 7:93 se encuentra: *“Todos son ácidos porque todos interactúan con el hidrógeno. Sí reaccionan con ácido clorhídrico o hidróxido de sodio porque al interactuar estos cambian de número de oxidación y tienden a ser más ácidos o más básicos.”* Se sabe que para este tipo de reacciones ácido-base, los elementos involucrados no presentan cambios en el número de oxidación, y además se habla de una “interacción con el hidrógeno” que no queda clara.

En la cita 7:79 se lee: *“¿Reacciona con agua? Los óxidos están formados por enlaces iónicos, como la molécula del agua es polar, entonces la fuerza del enlace del óxido es mayor a la fuerza de cohesión del agua, por tanto, no separa los componentes.”* Esta idea es avanzada para alumnos de primer semestre por el tipo de conceptos con que fundamentan la

respuesta, sin embargo, el ejemplo que después proporcionan para este enunciado es con el óxido de calcio (CaO), lo que se contradice con los hechos. Por último, la cita 7:14 indica: “*Los metales van a formar bases en presencia de agua y sólo el nitrógeno va a formar ácidos en presencia de agua, [...]*”. No se sabe el porqué los estudiantes afirman que sólo el nitrógeno formará ácidos al reaccionar con el agua y la única atribución posible es que pueda ser debida a conocimientos adquiridos en cursos previos de química, pero aprendidos de forma equivocada.

Por último, hay 2 coocurrencias en las que se hace énfasis para conectar las dos partes de la actividad. La **Correspondencia de valencia y familias actuales** (90 enr.) tiene 31 coocurrencias con la **Estequiometría y nomenclatura respetadas** (32 enr.), se observa que las coocurrencias abarcan casi todos los enraizamientos del segundo código. Es claro que, si los estudiantes consiguen escribir las reacciones de manera adecuada, es porque tienen conocimiento sobre la forma en que se escriben los distintos compuestos, en este caso, óxidos, oxiácidos e hidróxidos. El otro caso es el que se da entre los **Óxidos “por grupos”** (82 enr.) y la **Identificación del carácter ácido-base de los óxidos** (85 enr.), con 65 coocurrencias, lo que indica que se crea una conexión entre la “Identidad química” de las sustancias y la “Relación estructura-propiedades” de estas, ya que en un primer paso se distinguen los elementos a través de los grupos, y después, se les atribuyen ciertas características como ser metal o no metal, que tienen una implicación a nivel estructural de los mismos, y que a la vez relacionan las propiedades ácido-base que presentan los óxidos de esos elementos.

Para concluir este apartado, se aprecia que a través de la actividad O1 se desarrolla el pensamiento químico como habilidad de pensamiento científico. Esto es importante, ya que este tipo de propiedades rara vez son incluidas para sistematizar a los elementos que conforman a la tabla periódica. Así, los grupos de Odling ofrecen un acercamiento a los sistemas periódicos, dando prioridad a criterios químicos como valencia, óxidos o disoluciones ácido-base, contrario a presentar el tema de tabla periódica a partir de conceptos de la física moderna como electrones, protones, orbitales, etc.

4.7 Segunda actividad relacionada con Odling (O2)

Esta es la segunda actividad relacionada con William Odling, y también la última actividad enfocada a trabajar con la rejilla de argumentación de Toulmin. Aquí, el enunciado debe estar dirigido a expresar la importancia que tuvo el modelo de Odling para el desarrollo de la tabla periódica. Al igual que N2, la actividad sólo aparece en los grupos de teoría de los semestres 2016-1, 2017-1, 2018-1 y 2020-1. Sin embargo, y por fortuna, las 70 citas de este documento corresponden a respuestas efectivas.

Tabla 15. Códigos relacionados con la actividad O2.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 70)
Argumentación	Enunciado falso	5	Se usan enunciados falsos para la construcción del argumento. No hay correspondencia con los hechos.	6:67 “[...]; R: a menos que los elementos químicos se encuentran en constante cambio, esto no sería válido.”
	Enunciado sin sentido	5	Contiene uno o más enunciados que mantiene la estructura lógica, pero carece de sentido lo que contiene. O bien, no se expresa la idea de forma clara, lo que dificulta la comprensión de lo que se quiere decir.	6:1 “[...]; C: entonces fueron clasificados por grupos naturales; R: a menos que el H ₂ O afecte la basicidad o acidez del elemento de modo que no sea neutra.”
	Enunciados equivalentes	2	Se contienen enunciados que dicen cosas semejantes. Son repetitivos.	6:45 “[...]; C: entonces el modelo de Odling es el primero que tomó en cuenta las propiedades naturales de los elementos para ordenarlos; G: ya que acomodó los elementos por sus propiedades; S: tomó en cuenta sus propiedades naturales; [...]”
	Enunciados sin asociación	24	Aplica cuando se identifican dos o más enunciados que no tienen sentido en	6:31 “[...]; G: ya que la estructura de los átomos de cada elemento determinaba las propiedades de la sustancia; S: a causa de dividir la masa atómica entre la densidad del elemento; [...]”

			conjunto, aunque individualmente lo tengan.	
	RAT coherente	38	Existe coherencia entre los enunciados de la RAT consigo mismos y con los hechos.	6:24 “D: Es importante el modelo de Odling al desarrollo de la tabla periódica; C: entonces la tabla puede ser más funcional y decir más acerca de los elementos; G: ya que están acomodadas de acuerdo con su masa atómica relativa y propiedades de las sustancias; S: a causa de su acidez o basicidad; R: a menos que se utilice una tabla especial, como la de mecánica cuántica.”
	RAT incompleta	4	Se usa cuando falta al menos una parte en la estructura del argumento.	6:55 “D: La importancia del modelo de Odling en el desarrollo de la tabla periódica; C: entonces se seguían encontrando similitudes entre los elementos y le daba un mayor acomodo a la tabla periódica; G: ya que organizó los elementos según sus propiedades y masa relativa.”
	Uso de enunciados de las instrucciones	24	Aplica cuando se usan enunciados de las instrucciones de la actividad, o variantes de estos, para la construcción de la RAT.	6:19 “[...]; G: ya que permitió formar grupos naturales; S: a causa de sus propiedades denominadas naturales de los elementos; C: entonces creó una clasificación de sus elementos, con base a sus volúmenes atómicos, acidez o basicidad de sus óxidos; [...]”
Pensamiento Químico	Carácter ácido-base	40	Se reconoce la importancia que tuvo esta característica de los óxidos para proponer una clasificación.	6:12 “D: El modelo de Odling es importante para el desarrollo de la tabla periódica; G: ya que encontró diferencias en sus propiedades por sus reacciones; S: a causa de que algunos reaccionaban con agua para formar ácidos y otros formaban bases; [...]”
	Dificultad inherente de metales de transición	7	Se usa cuando los alumnos reconocen la dificultad de atribuir un carácter ácido-base a los metales de transición únicamente a partir de reacciones con el agua.	6:3 “[...]; C: entonces da pie a la separación de los elementos que al oxidarse y reaccionar con el agua forman ácidos o bases; R: a menos que se utilicen el Zn, Cu, Ni, y Fe, ya que no reaccionan con el agua.”

	Electrones	6	Usan conceptos más modernos (como configuración electrónica) sin que sea necesario.	6:34 “[...]”; G: ya que agrupa a las familias por número de oxidación; S: a causa de la configuración electrónica de cada elemento; [...]”
	Estructura del átomo	14	Se hace alusión a que las propiedades de cada elemento dependen de la estructura de sus átomos.	6:57 “[...]”; G: ya que encontró más características distintivas de cada grupo y con elementos que anteriormente no habían sido tomadas en cuenta; S: a causa de la estructura de los átomos que determinaban las propiedades de la sustancia; [...].”
	Identificación de familias	30	Aplica cuando se identifica en el sistema de clasificación a las familias o grupos de elementos, en el sentido actual.	6:68 “D: La reactividad semejante de dos elementos o más los acomoda en la misma familia o grupos según Odling; C: por lo tanto, se logra clasificar por grupos o familias a los elementos; [...].”
	Masa atómica	28	Resalta la importancia que se le da a la masa atómica como parámetro para la clasificación.	6:66 “[...]”; G: ya que confirmó el acomodo de los elementos dependiendo de su masa y reactividad; [...].”
	Naturales	38	Se usa cuando se le atribuye el carácter de “natural” a las propiedades de los elementos o a los grupos formados por Odling.	6:46 “[...]”; C: de esta manera, Odling obtuvo los grupos naturales; G: ya que empezó a clasificar los elementos con base a sus propiedades naturales; [...].”

Nuevos elementos o propiedades	4	Se da la refutación a partir del descubrimiento de nuevos elementos o de la consideración de nuevas propiedades para la clasificación.	6:7 “[...]; R: a menos que no se contemplaran elementos que aún no se descubrían y que compartieran propiedades naturales.”
Óxidos considerados	30	Implica que se relacionan a los óxidos de la actividad O1 para la argumentación.	6:14 “D: El modelo de Odling fue importante en el desarrollo de la tabla periódica; G: ya que incluyó la acidez o basicidad de los óxidos de los elementos; [...]”
Periodicidad	5	Aplica en aquellas respuestas donde se menciona a la periodicidad de las propiedades o los períodos de forma directa.	6:4 “[...]; C: entonces organizando a los elementos respecto a sus masas, encontramos cierta periodicidad en sus propiedades; [...]”
Reactividad	24	Aplica cuando se reconoce la importancia que tuvo la reactividad como propiedad química.	6:27 “[...]; C: entonces dijo que un parámetro importante para clasificarlos era su reactividad química; [...]”; S: a causa de las reacciones que provocaban; [...]”
Propiedades similares	60	Aplica a las respuestas en las que se identifica la importancia de la similitud de propiedades para el agrupamiento de elementos. También se le puede identificar con "características".	6:15 “; [...]”; C: entonces Odling aportó considerablemente a la construcción de la tabla periódica moderna con la propuesta de las familias, ordenándolas gracias a las características similares de cada elemento; [...]”
Volumen atómico	30	Se menciona al volumen atómico como parte de las propiedades que se consideran importantes en la clasificación.	6:25 “[...]; S: a causa de sus volúmenes atómicos; [...]”

Uso de modelos	Clasificación	34	Se reconoce la importancia de una clasificación en sentido general para los elementos químicos. También se le identifica con el verbo agrupar u organizar.	6:18 “D: Los elementos conocidos se clasificaron en 13 grupos; G: ya que los elementos conocidos podrían relacionarse conforme a sus características; [...]”
	Orden	19	Aplica cuando se habla del orden creciente según las propiedades (generalmente la masa), lo que da una posición a los elementos para facilitar su identificación.	6:40 “D: Fue importante porque clasificó en grupos que ayudaron al acomodo de la tabla periódica de acuerdo con sus propiedades de forma ascendente; C: entonces clasificó 13 grupos naturales; [...]”

Para analizar esta actividad, se procedió de forma distinta a como se hizo en D2 y en N2, ya que el tipo de resultados aquí encontrados son muy diferentes y se consideran valiosos para las personas interesadas en proponer actividades de argumentación a sus estudiantes y bajo un enfoque de historia de la ciencia. El punto que se quiere demostrar en este apartado es que el contexto que se presenta a los estudiantes para el desarrollo de las actividades influye en gran medida, e incluso predefine en cierto modo, la estructura y el contenido de las respuestas.

A continuación, se presenta en la Tabla 16 con las coocurrencias que presentan los tres códigos más representativos sobre la “argumentación” (columnas), con la mayoría de los códigos de los temas de “pensamiento químico” y del “uso de modelos” (renglones). El último renglón de la tabla muestra las coocurrencias entre los tres códigos sobre la “argumentación” y cabe mencionar que la **RAT coherente** no coocurre con **Enunciados sin asociación** en ningún momento.

Tabla 16. Matriz de coocurrencias entre códigos de contenidos y códigos de argumentación en O2

	Enunciados sin asociación (24)	RAT coherente (38)	Uso de enunciados de las instrucciones (24)
Dificultad inherente de metales de transición (7)	1	6	1
Estructura del átomo (14)	7	6	9
Orden (19)	9	8	9
Reactividad (24)	5	16	3
Masa atómica (28)	14	12	16
Identificación de familias (30)	7	21	9
Óxidos considerados (30)	10	18	14
Volumen atómico (30)	14	15	15
Clasificación (34)	13	20	12
Naturales (38)	16	22	17
Carácter ácido-base (40)	12	25	15
Propiedades similares (60)	23	33	24
Uso de enunciados de las instrucciones (24)	11	11	

Antes de continuar con la explicación de la tabla, se presenta la construcción del código **Uso de enunciados de las instrucciones** (24 enr.). Con instrucciones, se hace referencia al texto que sirve para presentar las ideas de William Odling y que acompaña a las actividades 6 y 7 del Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica”. De ese texto, se lograron identificar ocho enunciados (se entiende por enunciado a las partes del texto que se retoman en las RAT) que se llegan a presentar en las respuestas de los estudiantes, y cuyo arreglo de palabras puede presentar variaciones de orden o sustituciones por sinónimos, pero el significado se conserva. Los enunciados que se presentan son recuperados con las palabras exactas con que aparecen en la propuesta didáctica:

1. “[...] empezó a ser evidente que los elementos podían acomodarse, de manera sencilla, con base en su masa atómica relativa; [...]”
2. “[...] estos acomodos tenían mucho que ver con las propiedades de las sustancias.”
3. “[...] se relacionó con la estructura de los átomos de cada elemento [...]”
4. “[...] las propiedades de la sustancia que en conjunto formaban esos átomos.”
5. “[...] la clasificación propuesta por William Odling, la cual estaba basada en algunas propiedades, denominadas naturales, de los elementos.”
6. “Estas propiedades son volúmenes atómicos [...], **acidez o basicidad de sus óxidos**, etc.”
 - 6.1. “el cual [el volumen] se determinaba dividiendo la masa atómica entre la densidad del elemento”
7. “Odling obtuvo los siguientes **grupos naturales**”

Con estos ocho enunciados recuperados se explica el que los estudiantes incluyan en sus RAT conceptos que no utilizaron para resolver la actividad O1 (como el **Volumen atómico** (30 enr.)), ni aquellas ideas que no quedan expresadas en la tabla de los grupos de Odling (como el **Orden** (19 enr.) creciente de la **Masa atómica** (28 enr.)).

Al reflexionar en cuáles códigos surgen a partir de estos ocho enunciados, se suman a los ya mencionados: **Estructura del átomo** (14 enr.) y **Naturales** (38 enr.). Además de algunas expresiones mencionadas en las RAT, como la cita 6:33 que señala: “[...]; S: a causa de que la estructura de los átomos de cada elemento determinaba las propiedades de la sustancia que en su conjunto formaban esos átomos; [...]”, o la cita 6:1 que dice en la garantía de la RAT: “[...]; G: por lo tanto, se determinaba dividiendo la masa atómica entre la densidad del elemento; [...]”. Este último es un ejemplo muy claro sobre el préstamo que hacen los estudiantes no sólo de las palabras, sino de oraciones completas.

Además, el código **Uso de enunciados de las instrucciones** no abarca todos los préstamos, ya que como su nombre lo indica, sólo considera aquellos donde se toman oraciones, y algunas RAT sólo toman algunos conceptos y los adaptan a su manera para la construcción del argumento.

Esta situación puede significar que los estudiantes no asocian la primera actividad de Odling con esta actividad de argumentación. Códigos como **Reactividad** (24 enr.) o **Dificultad inherente de metales de transición** (7 enr.) que están más relacionados con los elaborados en O1, no tienen tantos enraizamientos como se esperaría.

Regresando a la Tabla 16, se observa un código para la argumentación que no había aparecido, **Enunciados sin asociación** (24 enr.), el cual va dirigido a establecer una relación de sentido entre al menos dos enunciados de una RAT. Al tener en cuenta que los alumnos pueden incluir oraciones tal cual aparecen en las instrucciones, no es de sorprender que surja este nuevo código. Así, de manera implícita se considera la capacidad que tienen los estudiantes para utilizar enunciados seleccionados y unirlos en una RAT de manera que puedan tener o no algún sentido, y entonces, lo que se tiene ahí ya no es una respuesta de argumentación. En ese momento dejan de ser ideas que sirven para defender una premisa, y se convierte en una especie de “rompecabezas” con el que se responde a una actividad más. Esto último queda reflejado por las coocurrencias de **Uso de enunciados de las instrucciones**, con los **Enunciados sin asociación** y **RAT coherente**, que tiene 11 coocurrencias con cada uno.

En N2 se observó que el número de respuestas de argumentación descendió (52 citas efectivas de 71), pero la calidad de las que sí se hicieron fue de una **RAT coherente**. Ahora, se tienen un aumento en el número de respuestas efectivas (70 citas), pero la calidad de muchas de estas ya no es la de un argumento, y sólo 38 de estas últimas son una **RAT coherente**.

Siguiendo con los 38 enraizamientos de **RAT coherente** en esta actividad, se observa en la Tabla 16 que hay algunos códigos que tienden a tener más coocurrencias con este, los cuales son: **Dificultad inherente de metales de transición** (7 enr., 6 cooc.), **Reactividad** (24 enr., 16 cooc.), **Identificación de familias** (30 enr., 21 cooc.), **Óxidos considerados** (30 enr., 18 cooc.), **Clasificación** (34 enr., 20 cooc.), **Carácter ácido-base** (40 enr., 25 cooc.) y **Propiedades similares** (60 enr., 33 cooc.). No se cuenta a **Naturales** porque este código casi siempre se agrega cuando se mencionan a las propiedades, lo que indica que es más que nada un préstamo del vocabulario usado en las instrucciones. Estos códigos que muestran más

coocurrencias con una **RAT coherente** también tienen una conexión con la actividad O1, lo que significa que en estas respuestas se asocian los contenidos de la actividad, y se presentan a través de enunciados contruidos de manera lógica y con sentido. Este tipo de respuestas representan poco más del 50% del total para O2, en la sección de discusión se abordará la cuestión de si es posible aumentar este porcentaje a través de la modificación de las instrucciones o al menos, la manera de disminuir los préstamos que los estudiantes hagan de léxico y principalmente de enunciados contenidos en las instrucciones.

El código **Periodicidad** (5 enr.) llama la atención en las actividades de Odling, ya que no es algo que se encuentre reflejado en la tabla de Odling de la propuesta didáctica. Así, se ve que algunos alumnos lo utilizan dentro de la conclusión, como la cita 6:4 que ejemplifica al código en la Tabla 15. Otro tipo de usos es como parte de la refutación, ya que al no ser evidente en el sistema de Odling que se presenta a los estudiantes, se recuerda a la periodicidad como parte fundamental para el sistema periódico actual.

Hay otro código cuyo trasfondo parece ser una constante en todas las actividades de argumentación, **Nuevos elementos o propiedades** (4 enr.). Este tipo de códigos, como se puede recordar a **Descubrimiento de elementos** en N2 o a **Exclusión de elementos** en D2, implican que los estudiantes siempre tienen en mente el número de elementos que encuentran hoy en día en la tabla periódica y que no aparecen en los sistemas de clasificación que se les presentan, hay una comparación constante entre pasado y presente. Si bien, se debe ser precavido para evitar anacronismos, estos pueden ser puntos interesantes para una discusión en la clase e incentivar que los estudiantes se involucren aún más con la actividad.

El código **Electrones** (6 enr.) acompaña a los del párrafo anterior, pero con énfasis en anacronismo. Es importante recordar a los estudiantes que los electrones fueron descubiertos hasta casi finalizar el siglo XIX (Sánchez Ron, 1997). Sin embargo, también es valioso considerar en clase que muchos de los conceptos que se asocian con los electrones fueron desarrollados mucho antes de su descubrimiento, como la electronegatividad con Berzelius, o la valencia que puede rastrearse hasta 1813 con Thomas Thompson (Gallego Badillo et al., 2004).

Por último, se tuvieron otros cuatro códigos relacionados a la estructura de la RAT. **Enunciado falso** (5 enr.), **Enunciado sin sentido** (5 enr.), **Enunciados equivalentes** (2 enr.) y **RAT incompleta** (4 enr.). Estos tienen un número bajo de enraizamientos y no hay algo nuevo que pueda aportar a través de su análisis particular, más allá de formas en las que una **RAT coherente** no pudo ocurrir.

Para recapitular el análisis de esta actividad en torno de las habilidades de pensamiento científico, se vio que la argumentación es un punto que debe reforzarse en esta secuencia didáctica y que una RAT no siempre va a asegurar que los estudiantes estructuren un argumento propio. Por otro lado, el pensamiento químico, que se encuentra potencialmente incluido en las actividades de Odling, no parece ser aprovechado en esta actividad, ya que los estudiantes al final no relacionan lo que hicieron en O1 para poder valorar con argumentos químicos a los aportes de Odling. Respecto al uso de modelos, no se encontraron otros aspectos además de la clasificación y el orden que pueden ofrecer los sistemas de clasificación de los elementos químicos.

4.8 Primera actividad relacionada con Mendeléiev (M1)

Esta actividad es una de las principales de toda la secuencia. Para su realización, se les entrega a los estudiantes, por equipo y en un sobre, los recuadros (ver Ilustración 13) recortados de la tabla que se encuentra en el Apéndice 2. Tabla de Mendeléiev para recortar. Estos recuadros contienen tres datos: un símbolo conformado por una letra o dos, para sustituir a los de la tabla periódica; fórmulas del tipo R_xO_y y RH_z , donde “R” representa al elemento, O y H al oxígeno y al hidrógeno respectivamente. Aunque esto último no se le especifica a los estudiantes y se espera que sea deducido por ellos; mientras que el número corresponde con la masa atómica de cada elemento, lo cual también se espera que sea deducido por los estudiantes.

Para resolver la actividad, se les solicita a los estudiantes que construyan una clasificación periódica a partir de la información contenida en los recuadros. Cuando terminan, deben dibujar el sistema de clasificación en el espacio de la hoja, explicar en qué se basaron para la construcción de su sistema, y las consideraciones que tuvieron que hacer para lograr la clasificación.

Para los ejemplos de las citas en la Tabla 17, se hará de forma similar a como se hizo en N1 y en O1. Algunas citas pueden ser textuales, cuando la codificación se hace sobre las explicaciones de cada equipo, y para los códigos que se aplican sobre el dibujo del sistema se ofrece una explicación más profunda sobre su uso.

Asimismo, para la comprensión de algunas explicaciones de los códigos de la Tabla 17, se recomienda que primero se vea el arreglo que aparece en la Ilustración 13 y que se encuentra antes de dicha tabla, ya que algunas comparaciones van referidas a este acomodo, el cual se basa en la tabla periódica de Mendeléiev de 1871 (véase Ilustración 5). Cada vez que se refiera a un elemento por su símbolo creado, se coloca entre paréntesis al número que representa a la masa atómica cuando se considere necesario, para facilitar su ubicación en la Ilustración 13.

Como advertencia, cabe mencionar que la tabla del Apéndice 2. Tabla de Mendeléiev para recortar, ha sido modificada para su anexión en este trabajo, y algunos de los detalles

modificados llegaron a influir en las respuestas de los estudiantes. Esto se aborda más adelante con mayor detenimiento.

A R ₂ O 1						
C R ₂ O 7	I RO 9.4	P R ₂ O ₃ 11	X RH ₄ RO ₂ 12	U RH ₃ R ₂ O ₅ 14	W RH ₂ RO ₃ 16	AZ RH R ₂ O ₇ 19
K R ₂ O 23	B RO 24	E R ₂ O ₃ 27.3	S RH ₄ RO ₂ 28	G RH ₃ R ₂ O ₅ 31	FC RH ₂ RO ₃ 32	AW RH R ₂ O ₇ 35.5
R R ₂ O 39	J RO 40			T RH ₄ RO ₂ 48	Ñ RH ₃ R ₂ O ₅ 51	HY RH ₂ RO ₃ 52
Z R ₂ O 63	Q RO 65			V RH ₃ R ₂ O ₅ 75	PÑ RH ₂ RO ₃ 78	GH RH R ₂ O ₇ 80
WR R ₂ O 85	Y RO 87	TP R ₂ O ₃ 89	N RH ₄ RO ₂ 90	HK RH ₃ R ₂ O ₅ 94	JT RH ₂ RO ₃ 96	
WD R ₂ O 108	D RO 112	M R ₂ O ₃ 113	F RH ₄ RO ₂ 118	PO RH ₃ R ₂ O ₅ 122	OL RH ₂ RO ₃ 128	KZ RH R ₂ O ₇ 127
WJ R ₂ O 133	L RO 137				GX RH ₂ RO ₃ 184	

Ilustración 13. Arreglo sugerido para la tabla del Apéndice 2.

Tabla 17. Códigos relacionados con la actividad M1.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 122)
Sobre la construcción del sistema de clasificación.	Abstracción de H y O	10	En estos casos no se hace explícita la relación del hidrógeno con H y del oxígeno con O, aunque sí se habla de formación de compuestos.	8:50 “Organizamos grupos observando el número de átomos del elemento que se combinan con un determinado número de O una vez que organizamos los grupos, [...]”
	Criterio alfabético	2	Se considera a las letras de los símbolos como para parámetro para la clasificación.	8:27 “[...] nos dimos cuenta de que había unos elementos que tenían la misma letra, entonces pensamos que era porque se unía con otro elemento y al final decidimos acomodarlo por la combinación que hay entre las letras.[...]”
	Criterio de masa atómica creciente	107	Se utiliza el orden creciente de la masa atómica para ordenar a los elementos.	8:4 “[...] 2) Dentro de cada grupo los ordenamos en orden creciente de masa. 3) Ordenamos horizontal y ascendentemente los grupos comparándolos con los otros grupos, para que los elementos fueran aumentando en masa no sólo dentro del grupo (vertical) sino dentro del período (horizontal).[...]”
	Desplazamiento de un grupo (o un elemento)	27	Aplica cuando se realiza un desplazamiento de un elemento o un grupo de elementos en el acomodo con la finalidad de “compactar” al sistema.	[En la cita 8:35 se observa cómo se desplaza la primera columna una posición hacia abajo, y en la cita 8:8 además de esto, se observa que se sube al elemento M (113) hasta quedar debajo de E (27.3).]
	Elementos excluidos	6	Aplica cuando se excluyen elementos del sistema, ya sea de manera deliberada o no.	8:110 “También nos basamos en lo que nosotros supusimos eran las masas y las ordenamos de izquierda a derecha en orden creciente. Sin embargo, sacamos a los elementos Y, L y WD.”
	Existencia de huecos adecuados	65	Aplica cuando se observan un número de huecos que es coherente con la lógica del sistema construido y sus criterios.	[En citas como la 8:17, 8:20 y 8:42 se observa el mismo espacio con forma de “T” volteada como en la Ilustración 13.]

Existencia de huecos extra	19	Se identifican huecos injustificados de acuerdo con la lógica del sistema y sus criterios.	[En citas como la 8:46 y la 8:114 se observan espacios vacíos que abarcan al menos dos columnas y tres renglones.]
Grupo y periodo invertido	7	Aplica cuando los grupos se escriben en los renglones y los periodos sobre las columnas.	[En la cita 8:23 se detecta este hecho, lo que produjo que el hueco de la “T” volteada quedara como una “T” normal.]
Grupo-Columna y Período-Renglón	102	Aplica cuando las agrupaciones de elementos se dan en las columnas y los periodos se extienden a lo largo de los renglones.	8:16 “2) Separamos las tarjetas en RO y RH, tomando en cuenta sus subíndices los dividimos en grupos: RO (R_2O , RO, R_2O_3); RH (RH_4 , RH_3 , RH_2 , RH). 3) Ordenamos los grupos verticalmente tomando en cuenta el número de cada tarjeta, ordenándolos de menor a mayor.”
Grupos por valencia	118	Aplica cuando se consideró la valencia para la formación de los grupos, vista a través de los compuestos con “H” y “O”.	8:80 “Clasificamos por columnas de acuerdo con el número de oxidación del elemento R con base al oxígeno para que la carga del compuesto sea neutra. Cada renglón fue acomodado de menor a mayor masa del mismo número de oxidación. Para clasificar los elementos consideramos el número de oxidación con respecto al oxígeno y su masa (número).[...].”
Grupos sin semejanza	1	Aplica cuando los elementos que conforman los grupos no tienen una característica en común.	8:101 “2) En su masa atómica agrupadas en pares de grupos o familias, en este caso fueron 8, o sea un número par. [...]”
GX aislado	28	Aplica cuando se coloca al elemento GX por debajo del último período.	[En citas como la 8:71 y la 8:85 se localiza al elemento GX (184) separado de los otros elementos que conforman el sistema]
H-Hidrógeno y O-Oxígeno explícitos	41	Aplica cuando se identifica de forma explícita a los compuestos “RO” como óxidos y los “RH” como “hidruros”.	8:21 “[...] Luego ordenamos por el tipo de óxidos e hidruros que cada ficha tenía.[...]”

Masa creciente entre grupos pero no periodos	18	Aplica cuando se ordenan los elementos dentro de un mismo grupo, sin que se cuide el orden en los periodos.	8:7 “[...] Se organizaron las tarjetas en columnas tomando en cuenta que tuvieran la misma "fórmula" [...].Tenemos huecos en las filas al no estar en forma u orden ascendente (de izquierda a derecha) las masas atómicas [...].”
Poder predictivo	22	Se menciona cómo se ordenarían o que podrían predecir de elementos por descubrir, pero no realizan la predicción de algún elemento en sentido estricto.	8:13 “[...] podríamos analizar las propiedades de los elementos que se encuentran arriba y abajo, así como a los lados del hueco, para poder predecir qué características debería tener el elemento que ocupe el espacio.[...]”
Posible copia de la tabla periódica	6	Se usa cuando el llenado de la tabla parece una mera reproducción de la tabla periódica sin considerar criterios que surgen directamente de las casillas recortadas.	8:58 “[...] En el grupo 1b acomodamos los elementos por triada, en el resto de los grupos b, seguimos el nivel ascendente de sus masas atómicas.”
Presencia de "tierras raras"	5	Aplica a clasificaciones en las que se colocó otro "bloque" de elementos por debajo, así como con los lantánidos y actínidos.	8:66 “[...] Consideramos: a) los 4 niveles energéticos, spdf, b) mantener la forma actual de la tabla periódica incluyendo elementos de transición y las familias de lantánidos y actínidos.”
Reconocimiento de sistemas previos	14	Se reconoce que el sistema al que llegaron tiene similitud, debido a la influencia de otros investigadores.	8:37 “[...] Luego cada 8 elementos formamos nuevos periodos, verificamos algunas triadas como R, WR, WJ y si dieron el promedio de en medio, los espacios vacíos son porque pierden la relación de las columnas.”
Sin dibujo	5	Aplica cuando no se adjunta ninguna representación de su clasificación.	[En estas citas (desde la 8:1 hasta la 8:5) no se dibujó la construcción del sistema, pero sí hay una explicación de cómo se elaboró.]
Sin huecos	25	No se dejó ningún hueco en la clasificación.	[En citas como la 8:33, 8:48 y 8:92, no se dejaron espacios vacíos en el sistema, son compactos.]

	Síntesis de modelos	1	Se hizo una síntesis de los distintos modelos que propusieron los integrantes el equipo.	8:18 “[...] El método por el cual llegamos a nuestra actual tabla fue una serie de modelos variados, en el cual cada integrante del equipo expuso su idea para conocer modelos distintos, lo que sucedió como consecuente fue que la tabla fue sufriendo distintos cambios y adaptaciones de acuerdo con lo que consideramos lo mejor de cada modelo, [...].”
	Valencias sin orden	8	Aplica cuando no se ordena a los grupos creados a partir de su valencia.	8:76 “[...], tomamos en cuenta el orden alfabético de las letras de las moléculas y el número que tenían abajo, para poder clasificarlas. [...].”

Antes de exponer el análisis, es importante aclarar por qué hay un único tema que aparece en la Tabla 17, referido a cómo se está construyendo la clasificación con base en las tarjetas. Todos los códigos tratan sobre cómo es que fueron construidos los sistemas de clasificación, y lo que se les pide a los estudiantes es que construyan un modelo de clasificación, esto es, se involucran aspectos sobre el uso de modelos en los códigos. Por otra parte, los criterios para lograr la clasificación también deben responder a hechos químicos, como los compuestos que se forman con hidrógeno y oxígeno, por lo que algunos códigos también se relacionan con el pensamiento químico. Además, los criterios de orden basado en números implican al pensamiento matemático. Y finalmente, esto debe ser explicado y justificado en las respuestas, por lo que detrás se encuentra la capacidad de argumentar, aunque ello no se realice a través de rejillas de argumentación de Toulmin.

Así, esta actividad integra procedimientos e ideas que se abordaron en las anteriores, y no se reduce a una simple búsqueda de patrones o un rompecabezas por armar.

El análisis se comienza por los códigos de menor enraizamiento, y que por lo mismo pueden considerarse como excepciones. El código de **Grupos sin semejanza** (1 enr.) se usó sobre la única respuesta en la que los alumnos afirman que para la construcción del sistema agruparon a los elementos en ocho columnas, sin embargo, los elementos no comparten similitudes, ya que sólo los ordenaron conforme a su masa, y formaron periodos de ocho elementos.

El código **Síntesis de modelos**, a pesar de sólo tener un enraizamiento, es valioso porque da pie a discutir una cuestión que no había aparecido hasta este momento. Este codificó a la cita 8:18, en la que se explica cómo fueron las propuestas de cada integrante del equipo, las ideas aportadas por cada uno se tomaron en consideración para llegar a la construcción final, la cual, por cierto, fue muy parecida a la de la Ilustración 13. Así queda claro que las respuestas atraviesan por un proceso de negociación dentro de los equipos, que hasta este momento había permanecido invisibilizado.

Cuando se menciona lo que los estudiantes hacen o proponen, se puede cometer el error de pensar que esto sólo surge de procesos internos presentes en cada individuo, sin embargo, también se debe tener en cuenta que, en este tipo de actividades por equipos, entra en juego un factor social que es difícil de observar a partir de las evidencias escritas. Permitir una buena comunicación entre los integrantes del equipo, así como la creación de espacios y tiempos para la generación y discusión de ideas, son vitales para explotar el potencial de actividades como las de esta secuencia didáctica.

Continuando con los otros códigos, únicamente en dos sistemas se consideró un **Criterio alfabético**, esto es, las letras de los símbolos fueron un factor principal para lograr una clasificación, siendo que estas letras son mera arbitrariedad. En otras seis respuestas hubo **Elementos excluidos** de forma deliberada, donde dichos elementos causaban un conflicto para la construcción de los sistemas, de acuerdo con los criterios considerados por cada equipo.

La **Presencia de “tierras raras”** (5 enr.) identifica a las respuestas en las que se colocaron algunos elementos por separado debajo del sistema, como si se tratara de los lantánidos y actínidos de la tabla periódica moderna. En algunos casos, estos elementos se colocaron así porque representaron una dificultad para su clasificación, como lo indica la cita 8:60: “[...] *nos basamos en la continuidad del número atómico, por eso algunos elementos nos quedaron desfasados para respetar esta continuidad [...]*”. En otros casos coocurre con **Posible copia de la tabla periódica** (6 enr.), y la relación se explica por sí misma. En las citas codificadas por este último código, los alumnos construyen sistemas con un arreglo

forzado para que luzca como la tabla periódica moderna, aunque ello implique no seguir los criterios que exponen en la justificación.

Cinco respuestas más aparecen **Sin dibujo** del sistema construido, sin embargo, sí se encuentran las explicaciones escritas. Es llamativo que las citas donde esto sucede son de la 8:1 a la 8:5, o sea, cinco respuestas consecutivas de un mismo semestre. Hay dos principales explicaciones, la primera es que los estudiantes no consideraron necesario dibujar el sistema que construyeron con las tarjetas, y la segunda es que estas hojas se hayan perdido en los archivos físicos.

Para terminar con este conjunto de códigos, está el **Grupo y periodo invertido** (7 enr.), y en las citas que codifica, las respuestas se ven como si se transpusieran los renglones y las columnas de la Ilustración 13. Esto advierte la diversidad de las configuraciones espaciales que pueden tomar los sistema construidos, aún respetando otros criterios de clasificación y de orden. Los códigos **Valencias sin orden** (8 enr.) y **Abstracción de H y O** (10 enr.) se analizan más adelante.

Contrarios a los códigos de bajo enraizamiento presentados, se tienen tres códigos con más de 100 enraizamientos. Estos son **Grupo-Columna y Periodo-Renglón** (102 enr.), **Criterio de masa atómica creciente** (107 enr.) y **Grupos por valencia** (118). A partir de aquí, se referirá a estos tres códigos como “macrocódigos”, para no tener que referirse a ellos como “los tres códigos de mayor enraizamiento” cada vez que se retomen. Estos macrocódigos, además de aparecer con gran frecuencia en las respuestas, también tienen un alto número de coocurrencias entre ellos, las cuales se muestran en la Tabla 18.

También se aclara que de las 118 citas en que aparecen en **Grupos por valencia**, 29 de ellas hablan de manera explícita del “número de oxidación”, sin embargo, al final estos códigos fueron fusionados, ya que presentaron 28 coocurrencias, y para fines prácticos, ambos cumplen con la misma la función en la construcción de los sistemas.

Tabla 18. Coocurrencias de los "macrocódigos" de M1.

	Criterio de masa atómica creciente (107)	Grupo-Columna y Período-Reglón (102)	Existencia de huecos adecuados (65)
Grupos por valencia (118)	104	101	65
Criterio de masa atómica creciente (107)		94	65
Grupo-Columna y Período-Reglón (102)			61
Grupo y período invertido (7)			4

La **Existencia de huecos adecuados** (65 enr.) es otro código importante, y aunque no es tan numeroso como los macrocódigos, codifica a poco más de la mitad de las respuestas. En la Tabla 18 se incluyen las coocurrencias de este código con los macrocódigos, y se observa que todos los enraizamientos también son coocurrencias con **Grupos por valencia** y con **Criterio de masa atómica creciente**. Con **Grupo-Columna y Período-Reglón** coocurren 61 veces, ya que tiene otras cuatro coocurrencias con **Grupo y periodo invertido**, lo que respalda la oposición que hay entre estos dos últimos.

Así, en términos generales, la mayoría de los sistemas construidos mantienen un orden creciente de los valores de masa, en los que se consideró la valencia de los elementos para clasificarlos por grupos, y dichos grupos quedaron colocados en las columnas del sistema. Además, de todas las respuestas, poco más del 50% tienen un número adecuado de huecos y son sistemas muy parecidos a los de la Ilustración 13.

No obstante, hay sistemas que presentan variaciones en el número de casillas huecas. Aquellas respuestas que tienen más casillas de las esperadas se codificaron con **Existencia de huecos extra** (19 enr.), y el número de huecos puede cambiar de una cita a otra. Caso contrario, no hay variaciones con menor número de espacios vacíos, sino que hacia abajo se llega al extremo de **Sin huecos** (25 enr.). Los tres códigos destinados a los huecos presentes

en los sistemas de clasificación se muestran en la Tabla 19, junto con las coocurrencias de otros siete códigos.

Tabla 19. Coocurrencias de códigos de M1 en relación con los huecos del sistema construido.

	Existencia de huecos adecuados (65)	Sin huecos (25)	Existencia de huecos extra (19)
Reconocimiento de sistemas previos (14)	11		
GX aislado (28)	21		5
Desplazamiento de un grupo (o un elemento) (27)	3	19	5
Poder predictivo (22)	13	2	3
Masa creciente entre grupos pero no períodos (18)		18	
Valencias sin orden (8)		8	
Posible copia de la tabla periódica (6)			3

La Ilustración 14 facilita la visualización de las coocurrencias de los tres códigos que tratan a los huecos de los sistema. Sobre decir que esos tres códigos no presentan ninguna coocurrencia entre sí, es decir, se excluyen mutuamente. Se observa también que estos códigos presentan coocurrencias muy específicas. Así, la **Existencia de huecos adecuados** tiene 11 coocurrencias con el **Reconocimiento de sistemas previos** (14 enr.), lo que indica que los alumnos capaces de relacionar las actividades anteriores proponen sistemas muy parecidos a los de la Ilustración 13.

Además, los arreglos como los de la Ilustración 13 favorecen que los alumnos se den cuenta del **Poder predictivo** (22 enr.) que posee un modelo como el de Mendeléiev, al relacionar los huecos que se ubican en sitios específicos del sistema con la posibilidad de incluir nuevos elementos que aún no se han descubierto. Sumado a esto, es el tipo de acomodo que presenta menos desplazamientos en las posiciones de los elementos, ya que sólo hay 3 coocurrencias de **Existencia de huecos adecuados** con el **Desplazamiento de un grupo (o**

un elemento) (27 enr.), lo que contrasta con las 19 coocurrencias de este último con los arreglos **Sin huecos** (25 enr.). En esas 3 coocurrencias que se mencionaron, el desplazamiento se dio sobre el primer grupo. En el arreglo de la Ilustración 13 se vería como si se hiciera descender una casilla a la primer columna, y se ve que esto no afecta al número de huecos del sistema. Sin embargo, sí crea un “bache periódico” en los valores de masa, ya que representan una disminución en ese grupo al ir avanzando de acuerdo con los períodos. Aun así, las citas donde se dan este tipo de “baches” no fueron un impedimento para ser codificadas con el **Criterio de masa atómica creciente**, mostrando flexibilidad con este código.

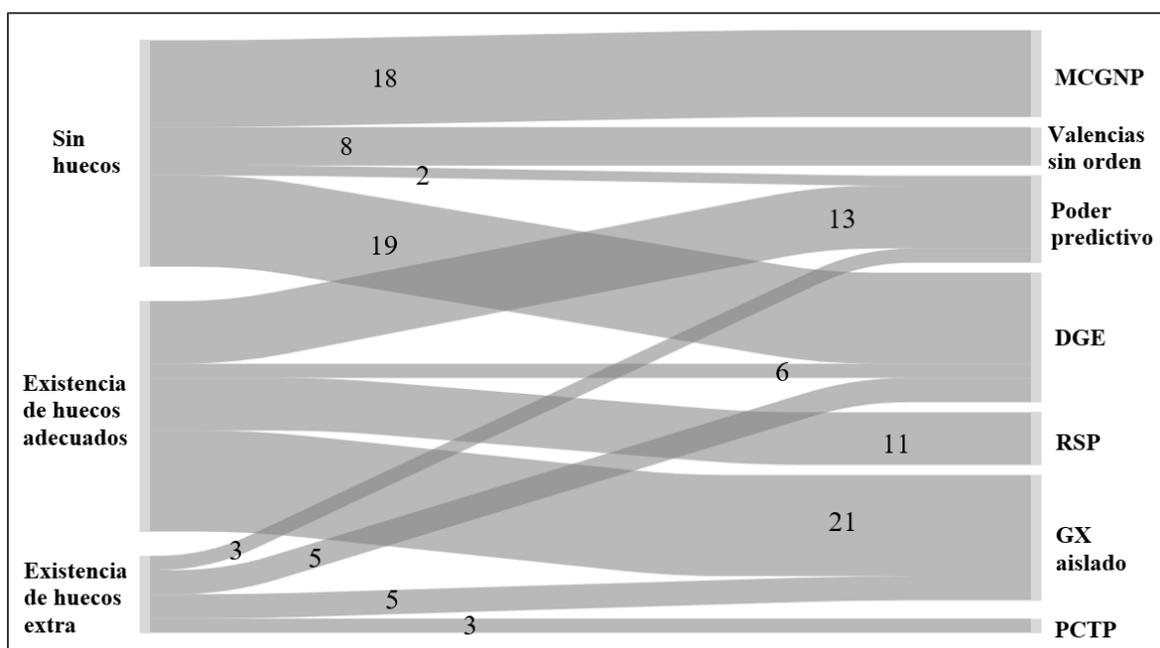


Ilustración 14. Diagrama Sankey que representa las coocurrencias de la Tabla 19. Nomenclatura: MCGNP: Masa creciente entre grupos pero no períodos; DGE: Desplazamiento de un grupo (o un elemento); RSP: Reconocimiento de sistemas previos; y PCTP: Posible copia de la tabla periódica.

Otro aspecto con el que se mostró cierta flexibilidad, y que por eso requirió de un código distinto fue el caso del elemento GX (184). En principio, puede argumentarse que si se tiene a **GX aislado** (28 enr.), entonces debe haber huecos innecesarios en el sistema, por lo tanto, este código no podría coocurrir con la **Existencia de huecos adecuados**. Empero, aquí se dio una transigencia a causa de las razones expuestas por los estudiantes. El hecho de que la masa aumente en gran medida sugiere a los alumnos que ese elemento debe mantenerse

distante en la construcción del sistema, considerando que el elemento anterior L tiene un valor asignado de 137. Así, en la cita 8:49 se lee: “[...] *Además, tanto horizontal como verticalmente dejamos huecos si la masa aumenta de forma excesiva.*”. Mientras que en la cita 8:105 se señala que: “*1)Nos basamos primero en la masa atómica de cada elemento acomodándolas de manera creciente de izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo; creciendo en intervalos de masa muy cortos. [...].*”, de donde se puede interpretar que, si un elemento crece a intervalos de masa muy grandes, entonces es porque faltan elementos en medio que permitan crear nuevos intervalos de masa cortos, encontrando así una justificación para colocar al elemento GX alejado y aislado del resto de los elementos, pero, indicando el grupo al que pertenece.

Por su parte, en las propuestas **Sin huecos** (25 enr.), los estudiantes compactan el sistema, y esto produce que el valor de masa atómica se alterne, crezca y decrezca al pasar de un grupo a otro, aunque dentro de los mismos grupos los elementos estén ordenados, esto explica las 18 coocurrencias con **Masa creciente entre grupos pero no periodos** (18), el cual es una consecuencia directa de los desplazamientos producidos al compactar el sistema. También puede presentarse el caso en el que los grupos no siguen ninguna regla entre sí, sino que se parecen más a la tabla que se les presentó para la actividad O1, donde los grupos son independientes unos de otros, y pueden ser conjuntos ordenados o no ordenados de los elementos, estos casos son las 8 coocurrencias con **Valencias sin orden** (8 enr.).

Referente a los huecos, sólo resta hablar de la **Existencia de huecos extra** (19 enr.). En estos casos, el **Desplazamiento de un grupo (o un elemento)** (27 enr., 5 cooc.) tiene como propósito expandir el sistema, esto produce nuevas columnas o nuevos periodos, incluso, llegan a presentarse hileras con sólo un elemento. También se observa que se presentan coocurrencias con **GX aislado** (28 enr., 5 cooc.), pues los huecos producidos por los desplazamientos producidos son distintos a los huecos generados a causa de separar al elemento GX de los demás. Ya se analizó que el caso de GX es especial debido al valor de su masa atómica, a diferencia de los otros espacios extra que no tienen una verdadera justificación. Por último, se repara en que algunos casos son debido a una **Posible copia de la tabla periódica** (6 enr., 3 cooc.). Por ejemplo, en la cita 8:52 y 8:54 se observa que después

de las primeras dos columnas, se deja un espacio de varias columnas vacías, como si fueran aquellas que deben corresponder a los elementos de transición.

Para terminar con el análisis de los códigos, solamente queda el par **Abstracción de H y O** (10 enr.) y **H-Hidrógeno y O-Oxígeno explícitos** (41 enr.). El primero se usa cuando los estudiantes basan su clasificación en los compuestos de tipo R_xO_y y RH_z pero no mencionan de manera explícita que se trate de compuestos con oxígeno o hidrógeno. Esto se aclara con la cita 8:10, que señala: *“Así, encontramos que cada tarjeta señalaba la masa atómica y la proporción en la que se podía combinar con el denominado "O", en algunos casos también con el denominado "H", cierto elemento desconocido.”*.

Por otro lado, se tiene a **H-Hidrógeno y O-Oxígeno explícitos** (41 enr.), a través del cual se aprecian las citas en las que los estudiantes afirman con certeza que los compuestos que aparecen en las tarjetas son con oxígeno y con hidrógeno. El primero de estos códigos parece estar más orientado hacia la búsqueda de patrones, mientras que el segundo incorpora al pensamiento químico para la solución de la actividad.

Una diferencia entre ambos es que **H-Hidrógeno y O-Oxígeno explícitos** tiene 5 coocurrencias con la **Posible copia de la tabla periódica** (6 enr.), lo que puede indicar que los alumnos que identificaron óxidos e “hidruros”, compararon el sistema que construían en clase con la tabla periódica moderna, mientras que aquellos que prefirieron mantenerse en la abstracción, se involucraron más con la actividad en tanto no necesitan considerar más allá de algunos conocimientos básicos para alumnos universitarios de una facultad de química.

Una vez que se terminó de exponer el análisis de los códigos, es posible explicar las modificaciones que se realizaron sobre la tabla para recortar del Apéndice 2. Tabla de Mendeléiev para recortar Se modificó el símbolo de dos casillas. La actual HK (94) antes tenía el símbolo H, y la actual PO (122) antes llevaba el símbolo O. Esta modificación se hizo para evitar confusión entre los alumnos, ya que los compuestos R_xO_y y RH_z sí se expresan con la H y la O.

Se modificaron los subíndices de tres elementos. Con WR (85), WD (108) y WJ (133) se indicaban los óxidos RO, cuando les debería corresponder el óxido R_2O . Esta modificación

se hizo porque ocasionaba que la segunda columna del arreglo de la Ilustración 13 fuera más larga, acompañada de muy pocos elementos en la primer columna. Esta elongación se consideró compatible con la **Existencia de huecos adecuados**, debido a que los estudiantes se apegaron a los criterios de clasificación y orden, y aunque visualmente se veían más espacios vacíos, estos espacios eran coherentes con dichos criterios. (véase la explicación de este código en la Tabla 17).

También se agregaron dos elementos nuevos, los cuales aparecen marcados en gris en la Ilustración 13. Estos son KZ (127) y TP (89). Cada uno tiene un propósito distinto. KZ es equivalente al yodo, el cual, junto con el telurio, sustituido por OL (128), violan el criterio de orden según la masa atómica, y obligan a reflexionar en las familias a las que pertenece cada uno de acuerdo con los compuestos que forman con hidrógeno y oxígeno.

Por su parte, TP busca disminuir el número de casillas vacías ocupando el lugar que le correspondería al itrio. Este elemento aparece con signo de interrogación al lado de su masa atómica en la tabla periódica de Mendeléiev de 1871, sin embargo, hoy se sabe que ese valor era muy cercano al valor que tiene actualmente. Disminuir estas cuatro casillas vacías a tres, puede ser un apoyo para que los estudiantes conecten los elementos que faltaban en N1, ya que si hicieron esta actividad como se les pide, encontraron que no se había descubierto aún el escandio, el galio, y el germanio, correspondiendo a su vez, con el ekaboro, el ekaaluminio y el ekasilicio predichos por Mendeléiev.

Para concluir este apartado, se valora esta actividad porque muestra la calidad de los modelos que pueden hacer los estudiantes a la vez que explican los parámetros que consideran para delimitar aquello que quieren representar. Esta actividad integra distintas habilidades de pensamiento científico (argumentación, pensamiento matemático, pensamiento químico y uso de modelo en la ciencia) y los estudiantes lo demuestran a través de sus respuestas.

4.9 Segunda actividad relacionada con Mendeléiev (M2)

Para esta actividad, se les presenta una de las tablas de Mendeléiev y se les solicita a los estudiantes que comparen esta tabla con el sistema que construyeron en la actividad anterior. La comparación debe estar enfocada en las diferencias y similitudes entre ambos sistemas. Se les pide que justifiquen ampliamente, además, que indiquen cuál es su interpretación de la información contenida en la tabla de Mendeléiev, y específicamente, el significado que tienen las representaciones de tipo R_xO_y y RH_z .

Esta actividad sólo aparece en los grupos de teoría de los semestres 2018-1 y 2020-1, y en el grupo de laboratorio de 2018-1, debido a que su implementación es más reciente. El propósito que tiene la actividad es retroalimentar. Un ejercicio relativamente más sencillo que los anteriores, a través del cual se busca que los estudiantes asimilen las ideas que trabajaron previamente.

Tabla 20. Códigos relacionados con la actividad M2.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 42)
Uso de modelos	Alusión a los espacios del sistema	18	Se usa cuando se hace referencia al número de espacios como punto de comparación.	9:4 “[...] Tampoco tomamos en cuenta que había elementos sin descubrir, así que no dejamos espacios vacíos como lo hizo Mendeléiev. [...]”
	Comparación de criterios	40	Aplica cuando los estudiantes se fijan en los criterios a partir de los cuales se construyeron ambos sistemas.	9:35 “1. Sí se parece en que se ordenaron en 7 grupos y se ordenó de menor a mayor masa, dejando espacios en donde no concordaban las masas, también consideró los óxidos e hidruros que formaba cada grupo. [...]”
	Comparación de la conformación	35	Se usa cuando la distribución espacial y la dirección del sistema se consideran como puntos de comparación.	9:20 “A) Similitudes: Ambas están organizadas en columnas de grupos que tienen la misma fórmula y en orden creciente de masas de izquierda a derecha y de arriba abajo, debido a esto la mayoría de los elementos están localizados en el mismo lugar. [...]”

Diferencias atribuidas a la información disponible	9	Aplica cuando las diferencias se atribuyen a la información con que disponía para hacer la construcción del sistema.	9:23 “[...] Mendeléiev contaba con más información (los elementos conocidos en su época), por tanto, logró hacer más grupos. [...]”
Interpretación química de R_xO_y y RH_z	27	Se usa cuando se interpretan las fórmulas R_xO_y y RH_z como los compuestos con oxígeno e hidrógeno.	9:6 “[...] B) Representan una relación para la formación de óxidos e hidruros.”

Como puede observarse, el número de códigos para esta actividad es menor que del resto de las actividades. Y si bien, el tema principal es el de “Uso de modelos”, dado que los estudiantes deben contrastar sus sistemas propuestos con el de Mendeléiev, también es posible apreciar al pensamiento químico involucrado, como consecuencia inevitable de la naturaleza del tema.

Tabla 21. Matriz de coocurrencias de los códigos de M2.

	Diferencias atribuidas a la información disponible (9)	Alusión a los espacios del sistema (18)	Interpretación química de R_xO_y y RH_z (27)	Comparación de la conformación (35)
Comparación de criterios (40)	9	16	26	33
Comparación de la conformación (35)	7	17	23	
Interpretación química de R_xO_y y RH_z (27)	6	13		
Alusión a los espacios del sistema (18)	3			

En la Tabla 21 se muestran las coocurrencias entre todos los códigos de esta actividad. Los dos códigos que tienen mayor enraizamiento son la **Comparación de la conformación**

(35 enr.) y la **Comparación de criterios** (40 enr.). El primero está relacionado con la distribución espacial que tienen ambos sistemas, pues de manera visual, las diferencias y semejanzas se hacen muy evidentes. El segundo se enfoca en los criterios sobre los que recae la construcción del sistema, siendo los parámetros de orden y de conformación de grupos los más mencionados. Con estos dos códigos es posible abarcar el total de las citas, sin embargo, los tres restantes refieren a detalles más particulares.

Por ejemplo, para algunas respuestas fue importante aclarar que había **Diferencias atribuidas a la información disponible** (9 enr.). Sugieren que Mendeléiev contaba con más información acerca de los elementos, a partir de la cual pudo obtener un sistema más completo y con mejores criterios. En la mayoría de estas citas se menciona al grupo VIII que aparece en la tabla de Mendeléiev, caracterizado por los óxidos RO_4 , lo que queda incluido en las coocurrencias de este código con los de la comparación de criterios y de conformación.

En las citas con código **Alusión a los espacios del sistema** (18 enr.), los alumnos retoman los huecos que hay en cada sistema como punto de comparación. Algunos mencionan que sí los colocaron en sus sistemas, pero no lo relacionaron con elementos por descubrir, y otros mencionaron que sus sistemas no contaban con los espacios que dejó Mendeléiev. Aquí se aprecia la retroalimentación que tiene el hacer este tipo de actividades comparativas.

El último código por analizar es el de la **Interpretación química de R_xO_y y RH_z** (27 enr.), el cuál se relaciona con la solicitud expresa en las instrucciones. En once de los 27 enraizamientos, se encontró que los alumnos interpretan estas fórmulas a través de los números de oxidación en lugar de las valencias. También se observa que no todos los estudiantes asociaron estas fórmulas con los compuestos que formaban los elementos, sin embargo, esto no sorprende, ya que desde la actividad anterior, se obtuvieron dos códigos que estaban dirigidos hacia esta situación (**Abstracción de H y O y H-Hidrógeno y O-Oxígeno explícitos**) y que se analizó.

Así, esta actividad de retroalimentación da pie para mencionar el seguimiento que es posible dar a los códigos a través de la secuencia didáctica. Por supuesto, hay mayor relación

entre los códigos de cada bloque de actividades, identificadas por cada químico y su propuesta. Además, cobra importancia la sistematización del registro de los datos a analizar, porque así es posible darle seguimiento a cada equipo en caso de ser necesario, manteniendo íntegra la identidad de los estudiantes.

Por ejemplo, la cita 9:4, que corresponde al equipo 4 del grupo de teoría 2018-1, los alumnos se dan cuenta del desfase producido por la forma en que incluyeron al hidrógeno: “ [...] *no consideramos que el hidrógeno desfasaba el orden que llevaban, poniendo a la par el período 2 con el 1.*” Al buscar en la actividad anterior al sistema que propuso el equipo cuatro del grupo de teoría 2018-1, que corresponde con la cita 8:74, se corrobora que esta cita se codificó con **Desplazamiento de un grupo (o un elemento)** (véase la Tabla 17). Esto a la vez, respalda la importancia que tiene incluir actividades que por sencillas que parezcan, son importantes para reforzar algunos conocimientos y que brinden una retroalimentación a los estudiantes, sin necesidad de intervención por parte de la o el docente.

Cabe mencionar que, en la propuesta didáctica, después de esta actividad, se explican las predicciones que hizo Mendeléiev con base en su tabla sobre la existencia de los elementos ahora conocidos como escandio (Sc), galio (Ga) y germanio (Ge), nombrados por Mendeléiev como ekaboro, ekaaluminio y ekasilicio, respectivamente.

Finalmente, se abre la cuestión de si es posible que más estudiantes profundicen en la comparación de los sistema al grado de poder proponer mejoras al suyo. Esto se retoma más adelante en la sección de discusión.

Para resumir, esta actividad no se enfoca en desarrollar una habilidad de pensamiento científico como tal, aunque si retoma algunos aspectos como el uso de modelos, el pensamiento químico y la argumentación. Por otra parte, la función que cumple como retroalimentación es valiosa, considerando que es una de las últimas actividades de la secuencia didáctica.

4.10 Tercera actividad relacionada con Mendeléiev (y Meyer) (M3)

Esta actividad, al igual que la pasada, consiste en hacer una comparación entre dos modelos, sólo que esta vez se contrasta el sistema de Mendeléiev con el de Julius Lothar Meyer. Sumado a la tabla de Meyer, en la actividad se incluye la gráfica de Volumen atómico vs. Masa atómica que publicó Meyer en 1870. Así, a los estudiantes se les solicita que indiquen las diferencias y las similitudes entre ambos sistemas, y que mencionen cuál de las dos propuestas les parece más completa.

La actividad fue la última que se sumó a la secuencia didáctica y sólo aparece en los grupos de teoría 2018-1 y 2020-1, lo que explica el bajo número de citas (33) asociados con este apartado.

Tabla 22. Códigos relacionados con la actividad M3.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales: 33)
Comparativos	Comparación del criterio de orden	23	Se usa cuando los estudiantes retoman el orden ascendente de masas para la comparación.	10:20 “[...]Similitudes: Ambos tienen orden creciente de masa (arriba hacia abajo, de izquierda a derecha). [...]”
	Diferencias de valores de masa atómica	9	Se usa cuando los estudiantes consideran como una diferencia importante a las variaciones en los valores de masa atómica.	10:9 “[...] La mayoría de las masas atómicas relativas en la tabla de Mendeléiev son enteros, y en la de Meyer la mayoría tiene decimales. [...]”
	Diferencias en el acomodo de los elementos	31	Aplica cuando se retoma la conformación del sistema como punto de comparación.	10:11 “a) Las diferencias son que Lothar Meyer propuso 16 periodos y 9 familias, mientras que Mendeléiev propuso 12 periodos y 8 familias. [...]”
	Predicciones relacionadas al sistema	10	Aplica cuando se mencionan las predicciones que surgen del sistema.	10:3 “[...]2. Se toman en cuenta únicamente los elementos conocidos en los modelos dejando espacios para descubrimientos futuros. [...]”

Preferencias	Preferencia indeterminada	12	Se usa en respuestas donde no se comenta sobre la preferencia por un sistema u otro.	10:18 “Diferencias: Meyer toma más como prioridad las masas atómicas para ordenarlos a comparación de Mendeléiev. Similitudes: Siguió el orden numérico de masa.”
	Preferencia por Mendeléiev	20	Se usa cuando se hace explícita la preferencia por el sistema de Mendeléiev.	10:30 “[...] Nos parece mejor la tabla de Mendeléiev porque considera más factores y es más fácil de entender.”
	Preferencia por Meyer	1	Se usa cuando se hace explícita la preferencia por el sistema de Meyer.	10:12 “[...] Nosotros consideramos que la tabla periódica de Meyer es la más adecuada, ya que Meyer hizo un reorden de elementos y precisión de masas atómicas, lo cual consideramos un poco mejor a la de Mendeléiev.”
Sobre Meyer	Interpretación equívoca de Meyer	20	Aplica cuando se hace evidente la falta de comprensión sobre el sistema de Meyer.	10:26 “[...] Diferencias: Meyer no utilizó las fórmulas que Mendeléiev propuso (R ₂ O, RO, etc.), también Meyer anexó un grupo más con dos elementos. Muchos elementos que acomodó Meyer están en otros grupos, ej.: Mendeléiev, Be (grupo II); Meyer Be (grupo I). [...]”
	Mención de la gráfica	2	Se usa cuando se menciona la gráfica, aunque no se profundice en ella.	10:7 “Mendeléiev no realizó una gráfica, [...]”

En la Tabla 22 se distribuyen los códigos de esta actividad en tres temas, para los que hay que especificar su razón de ser, y dónde quedan las habilidades de pensamiento científico. El primer tema refiere a los códigos “Comparativos”, ya que son los códigos que sirven para identificar en qué aspectos de los dos modelos se centraron para establecer las diferencias y las semejanzas. En estos códigos, se mezclan elementos sobre el uso de modelos, el pensamiento químico y el pensamiento matemático, así como sucedió en la actividad anterior M2.

El tema de “Preferencias” va enfocado en la segunda instrucción que pide a los estudiantes que indiquen qué sistema les pareció mejor. Y el tercer tema, surge a partir de las observaciones hechas por los estudiantes sobre el sistema de Meyer y su gráfica. Estos códigos se analizan más adelante.

Para comenzar el análisis, se parte de los códigos del primer tema. Que los estudiantes hayan notado las **Diferencias de valores de masa atómica** (9 enr.) y les hayan concedido importancia, puede relacionarse con los códigos que aparecieron desde las primeras actividades sobre la **Búsqueda de exactitud** (véase Tabla 2). Esto es, hay una relación entre valores más exactos, con la validación de un sistema de clasificación.

Después se tiene el código **Diferencias en el acomodo de los elementos** (31 enr.), el cual cumple una función similar a la **Comparación de la conformación** (véase Tabla 20), sin embargo, en este caso, el código se obtuvo a partir de otros más específicos, pero que se pueden reducir al acomodo de los elementos. Así, se observó que los alumnos mencionaban: al número de periodos de cada sistema; a la inversión que presentan los grupos y los periodos entre ambas tablas; a los diferentes elementos que conformaban ciertos grupos; a la inclusión del uranio y del torio en la tabla de Mendeléiev; y al hecho de que Meyer no incluyó al hidrógeno en su propuesta. Se ve que estos detalles necesitan de una comparación visual entre ambos sistemas.

Por otro lado, también está la **Comparación del criterio de orden** (23 enr.), el cual casi siempre se menciona como una similitud. Este código, como todos los relacionados al orden que tienen los elementos en un sistema de clasificación, apela al pensamiento matemático. Y con las **Predicciones relacionadas al sistema** (10 enr.), se involucran los alcances y el potencial que tiene un modelo basado en las propiedades periódicas de los elementos. Además, así como en M2, aquí ya es casi obvio que un hueco en un sistema periódico implica la predicción de un elemento que no se ha descubierto.

Ya sean diferencias y similitudes que pueden apreciarse a simple vista, o que se requieran del procesamiento de la información contenida en un sistema de clasificación, las comparaciones revelan qué parámetros han sido los que tuvieron mayor relevancia para los estudiantes, los que generaron algún significado, mientras que aquellos que fueron omitidos posiblemente requieran de un refuerzo en una discusión posterior. Así, se observa que la idea de ordenar los elementos ha sido de las más constantes a lo largo de las actividades, mientras que las predicciones hechas a partir de un modelo fueron haciéndose cada vez más presentes, aunque no tanto.

Respecto al tema de las “Preferencias”, se observa que la mayoría de los estudiantes tuvieron **Preferencia por Mendeléiev** (20 enr.), mientras que doce equipos no mostraron ningún favoritismo (**Preferencia indeterminada**), y únicamente un equipo tuvo **Preferencia por Meyer**. Así se abre el problema relacionado con la tabla de Meyer y su gráfica.

El código **Interpretación equívoca de Meyer** (20 enr.) es preocupante en tanto que los estudiantes tienen dificultades para localizar características y criterios de clasificación que ya conocen, cuando se les presenta de forma distinta. Este código surgió a partir de la fusión de tres códigos, tres aspectos que no se relacionaron con el sistema de Meyer: el orden de las masas atómicas; las predicciones que pueden hacerse a partir de sus huecos, y las valencias compartidas por los elementos de un mismo grupo (“semejanza química”).

Por ejemplo, la cita 10:3 dice que en el sistema de Meyer “*no se contemplan números de oxidación para ordenar los grupos*”, a la par que la cita 10:10 indica que “*Lothar solo usa grupos (IX)*”. Por estas respuestas, se aprecia que algunos alumnos no reconocen la similitud química que comparten los grupos, mientras que la segunda cita apunta una posible explicación, no se dan cuenta de que las columnas en la tabla de Meyer son los periodos y no los grupos.

Otro caso es el de la cita 10:27, donde se dice que Meyer “*no propone nuevos elementos*”. Este punto es polémico, y es una discusión viva en la historia de la química, ya que en efecto Meyer no hizo predicciones explícitas a partir de los huecos de su tabla, al contrario de Mendeléiev, que incluso estimó los valores de algunas propiedades físicas (Scerri, 2019). Sin embargo, la respuesta tampoco es un no tajante hacia Meyer. Así, se desestima la capacidad del modelo de Meyer para hacer predicciones por una razón desconocida.

Finalmente, hay casos como los de la cita 10:28 que indica que “*Meyer no ordenó los elementos en un orden ascendente de sus masas atómicas*”. Este hecho es posible explicarlo por la poca observación de parte de los estudiantes. No obstante, también se aprecia que el sistema de Meyer es un tanto más complejo que el de Mendeléiev, y no por la información contenida, sino por el formato que Meyer le dio, las anotaciones y las ambigüedades que deben ser puntualizadas con texto.

La dificultad que tiene el sistema de Meyer para su correcta y completa interpretación es percibida por los estudiantes, así, de las 20 respuestas donde se tuvo **Preferencia por Mendeléiev**, en tres se comentó sobre la facilidad del sistema de Mendeléiev para su interpretación, diciendo que *“la tabla de Mendeléiev está mejor elaborada, debido a que tiene una mejor interpretación y un orden”* (cita 10:29), o que *“la tabla de Mendeléiev [...] considera más factores y es más fácil de entender”* (cita 10:30). Aquí se le recuerda al lector, que Mendeléiev tenía formación como pedagogo, y parte de su trabajo sobre la tabla periódica fue incluido en sus libros de texto (van Spronsen, 1969), por lo que las tablas elaboradas por él son en efecto, hechas para ser fáciles de entender.

Además, ningún alumno incluyó una interpretación de la gráfica de Lothar Meyer, y sólo en dos respuestas se limitaron a hacer **Mención de la gráfica**. Por una parte, es posible que la gráfica no sea muy legible, y por otra, quizá los alumnos no relacionan de ninguna manera la gráfica con la tabla de Meyer, aunque los número romanos que se asignan a los periodos aparecen en ambas. En la discusión, se retoma la cuestión de cómo poder explotar el potencial contenido en la tabla de Meyer.

En síntesis, esta actividad comparte objetivos con M2 para dar cierre a la secuencia didáctica. Invita a la reflexión en torno a dos modelos que en su momento llegaron a competir, y que mantienen viva una discusión histórica sobre qué propuesta fue mejor. Además, con esta actividad, se tienen observaciones muy precisas sobre qué aspectos hacen falta reforzar en un grupo y cuáles son los que tuvieron mayor aceptación por parte de los estudiantes, así como las habilidades de pensamiento científico que se hicieron más presentes a lo largo de la secuencia didáctica y cuáles no.

4.11 Actividad del diseño experimental (E1)

Esta es la última actividad de la secuencia didáctica, en la cual, se les pide a los estudiantes que propongan un experimento, a través de un diagrama de flujo (DF) y con base en las ideas de Odling, que les permita llegar a una clasificación parecida a la de la tabla periódica haciendo uso de las propiedades ácido base de los óxidos. Los elementos que se les indican son carbono, azufre, fósforo, sodio, potasio, litio, calcio, magnesio y yodo, además del óxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de zinc, óxido de hierro, óxido de níquel y óxido de cobre.

En esta actividad hay una diferencia sustancial entre los grupos de teoría y los grupos de laboratorio, que es la realización del experimento. Mientras que, para los grupos de teoría, sólo llega hasta el planteamiento del DF, para los grupos de laboratorio, dicho diagrama dirige la práctica experimental.

Respecto a los DF recuperados de los archivos, se menciona que no se encontraron los documentos físicos que corresponden a los grupos de laboratorio, pero sí se contó con los archivos digitales de los semestres 2017-1, 2018-1 y 2020-1.

Al igual que en actividades anteriores, la mayoría de las respuestas de esta actividad no son textuales, por lo que en casi todos los ejemplos de las citas se describe con más detalle el uso de cada código.

Tabla 23. Códigos relacionados con la actividad E1.

Tema	Código	Enr.	Explicación	Cita (Totales:95)
Clasificación del DF	DF incompleto	27	Un DF se considera incompleto si le falta al menos una característica de las cinco que definen al DF mínimo requerido .	[Por ejemplo, en la cita 11:52 se indica la formación de óxidos y la preparación de disoluciones, pero no se propone ningún procedimiento para determinar el pH de la disolución.]
	DF intermedio	21	Aplica en los DF que incluyen más detalles, además de las 5 características de un DF mínimo requerido , pero	[Por ejemplo, en 11:87, además de las características de un DF mínimo requerido , se incluyen las Reacciones con NaOH y HCl , pero no explicitan ningún procedimiento.]

			que no llega a ser un DF reproducible .	
	DF mínimo requerido	16	Deben identificarse cinco requisitos para su uso*: 1.- Hay producción de óxidos; 2.-Se hacen disoluciones acuosas de los óxidos; 3.-Se determina el pH; 4.-Se debe generar una clasificación de los elementos; y 5.-Se siguen pasos concatenados no conmutativos. *No aplica si el DF tiene más características además de las cinco mínimas.	[Por ejemplo la cita 11:67 proponen un DF general de cuatro pasos, a través de los cuales: se oxidan los elementos, se hacen reaccionar con agua, se determina el pH de las disoluciones obtenidas, y se clasifican los elementos de acuerdo con el pH obtenido. Además, estos cuatro pasos tienen una secuencia, no conmutan entre sí.]
	DF reproducible	9	Aplica sobre los DF detallados y que pueden ser reproducidos por un tercero siguiendo las indicaciones proporcionadas.	11:3 “[...] Lavar las cucharillas de combustión con las lijas de agua para quitar los restos de cualquier otra sustancia y el óxido de la misma. Para verificar que esté limpia, pasarla por el mechero de Bunsen. Si se observan chispas (de cualquier color) la cucharilla no está completamente limpia aún, de lo contrario se puede utilizar. [...]”
	No se propone un diseño experimental	22	Aplica cuando no se sugiere ninguna serie de pasos que puedan realizarse en laboratorio.	[Por ejemplo, la cita 11:25 presenta algo más parecido a una red conceptual sobre la clasificación de Odling, y no se identifica ningún tipo de procedimiento experimental.]
Diseño del experimento	Especifican variables medibles	10	Se usa cuando se identifican especificaciones de masa, volumen, etc., a usar en el experimento.	[Por ejemplo, la cita 11:39 indica que se deben oxidar 2 g de sodio y añadir el óxido obtenido a 5 mL de agua destilada.]
	Instrumentación	24	Se usa cuando se hace mención o se dibujan los instrumentos de laboratorio a utilizar.	[En la cita 11:8 se menciona el uso de: cucharilla de combustión, frascos viales, mechero de Bunsen y parrilla]
	Óxidos gaseosos	13	Se usa cuando se reconoce la formación de óxidos	[Por ejemplo, en la cita 11:41 se menciona la necesidad de tener

			gaseosos de algunos elementos.	un sistema para atrapar los gases de los óxidos de C, P, S y I.]
	Óxidos reactivos con agua	40	Aplica cuando los DF suponen que todos los óxidos reaccionan con el agua.	[En la cita 11:56 no se hace ninguna distinción entre los óxidos producidos a partir de los elementos y los óxidos que se indican aparte en las instrucciones, proponiendo las “reacciones” de los óxidos en general con el agua.]
	Óxidos sólidos	24	Aplica cuando suponen que todos los óxidos son sólidos.	[Por ejemplo, en la cita 11:33 asumen que todos los elementos se pueden oxidar en cucharilla de combustión y una vez oxidados, colocarlos en agua para producir las disoluciones.]
	Reacciones con NaOH y HCl	29	Aplica cuando se especifica el uso del NaOH y HCl para determinar carácter ácido base de los óxidos señalados.	[En la cita 11:78 se observa un procedimiento para trabajar con los elementos y otro para trabajar con los óxidos.]
	Sólo óxidos señalados	1	Se usa cuando sólo proponen el experimento con los óxidos dados, dejando fuera a los elementos.	[En la cita 11:55 sólo se contemplan los óxidos señalados en las instrucciones para realizar el experimento y no se propone nada para los elementos.]
	Sólo sustancias elementales	23	Se usa cuando sólo proponen el experimento con los elementos, dejando fuera a los óxidos.	[En la cita 11:42 se realiza la propuesta contemplando únicamente a los elementos, sin incluir a los óxidos de aluminio, silicio, zinc, hierro, níquel y cobre.]
Pensamiento Químico	Agrupación de Odling	14	Se usa cuando se retoman los grupos de Odling para clasificar a los elementos, haya o no una propuesta experimental.	11:20: “Separarlos de acuerdo a su reactividad como en la tabla de Odling, separando a los que forman ácidos de bases”
	Carácter ácido-base para distinguir metales de no metales.	19	Son respuestas en las que se hace una relación de las categorías ácido-base con las categorías de metal y no metal.	11:28: “Las Bases se clasifican como Metales y los Ácidos como No metales.”

	Clasificación metal-no metal antes de experimentar	10	Se hace una separación de elementos metálicos y no metálicos desde el inicio del DF.	[En 11:9 se hace una separación desde el inicio del DF entre metales y no metales, a partir de la cual, se sigue la propuesta experimental.]
	No se relacionan fenómenos	19	Aplica cuando en el experimento no se relacionan los fenómenos involucrados con el objetivo de este.	[Por ejemplo, la cita 11:13 relaciona el experimento con densidad y temperatura de fusión, fenómenos prescindibles para para lograr la clasificación que se les pide.]
	Valencia	13	Aplica cuando se menciona a la valencia en los DF, ya sea al final para lograr la clasificación, o como parte fundamental del experimento, aunque no sea una variable por determinar.	[Por ejemplo, en la cita 11:22 se relaciona la valencia con la observación de propiedades semejantes en las reacciones de los óxidos con el agua.]
Tipo de grupo	Grupos de laboratorio	26	Aplica en DF elaborados por los grupos de laboratorio.	
	Grupos de teoría	69	Aplica en DF elaborados por los grupos de teoría.	

Para analizar esta actividad se diferenciaron las respuestas según corresponden a grupos a teoría o de laboratorio. El primer argumento para hacer esta distinción, es el tiempo del que dispone cada grupo, mientras que para lo grupos de teoría es una actividad que concluye con la secuencia didáctica y que tiene una duración de 20 min aproximadamente, para los grupos de laboratorio es parte de los primeros planteamientos de una práctica experimental que se realiza durante varias sesiones de 120 min, y que trata sobre las propiedades de los elementos y sus óxidos.

El segundo argumento que justifica la diferenciación de los grupos, recae en el enfoque mismo de la actividad, a través de la cual se busca desarrollar la capacidad de diseñar experimentos, vista como una habilidad de pensamiento científico, y el laboratorio como espacio físico, cobra mayor importancia que el aula porque permite llevar a cabo la

experimentación. Para dar validez a dicho argumento, se analizaron las coocurrencias entre los códigos del tema dirigido a clasificar los diagramas de flujo (DF) (véase Tabla 23) y su presencia en los grupos de teoría y de laboratorio.

Los códigos dirigidos a clasificar los DF marcan un cambio gradual que comprende desde aquellas respuestas en las que no se identifica una propuesta experimental (**No se propone un diseño experimental** (22 enr.)), hasta aquellas en las que se identifica un **DF reproducible** (9 enr.). En medio de estos dos extremos, se pueden encontrar tres formas generales en las que se plantearon los DF. De esas tres formas, el código **DF mínimo requerido** (16 enr.) permitió definir los otros dos códigos.

A pesar de que las respuestas presentan un sinnúmero de variaciones, se encontraron cinco características presentes en la mayoría de los DF, y cada una correspondió con un código auxiliar en el primer nivel de codificación, por lo que no se presentan como códigos en la Tabla 23, pero sí se mencionan en la explicación del **DF mínimo requerido**.

Retomando esas cinco características, tres corresponden con la experimentación como tal, una más con el tratamiento de datos, y la otra con la secuencia que requieren los pasos de un DF. En términos muy amplios, se espera que los estudiantes identifiquen al menos tres operaciones necesarias para determinar las propiedades ácido-base de los óxidos: 1) Oxidar los elementos; 2) Preparar una disolución en medio acuoso a partir de los óxidos; y 3) Determinar el pH de las disoluciones. Por otro lado, también se espera que los alumnos puedan relacionar las determinaciones de pH con la propiedad ácido-base de los óxidos, pues esto se relaciona con el objetivo del DF para poder clasificar a los elementos. Y finalmente, estas acciones deben seguir un orden lógico ya que ninguna de estas es conmutativa, por ejemplo, no se puede determinar el pH de los óxidos en estado sólido o gaseoso, así como tampoco es posible realizar una clasificación de acuerdo con la acidez o basicidad de los óxidos sin antes oxidar a los elementos.

A partir de las cinco características descritas, se define al **DF mínimo requerido**. Se aprecia que este código marca una especie de umbral para poder responder a la pregunta ¿Qué hace que un diagrama de flujo defina un procedimiento experimental? Aunque con esas características mínimas no es posible definir un experimento reproducible en el laboratorio

ya que faltaría especificar más detalles, sí se tiene un punto de partida. Con esto surge una nueva cuestión que se aborda en la discusión, ¿Qué es la reproducibilidad y por qué es importante considerarla para la enseñanza de la ciencia?

De tal manera, si se observan menos características de las de un **DF mínimo requerido**, entonces el diagrama se considera como un **DF incompleto** (27 enr.), caso contrario, si un diagrama considera más aspectos, como explicar ciertos procedimientos, o indicar los instrumentos de laboratorio que utilizarían, entonces se considera como un **DF intermedio** (21 enr.).

Cuando **No se propone un diseño experimental**, normalmente las respuestas son redes conceptuales sobre la clasificación de Odling, aunque en dos casos se identificó un diagrama a través del cual se explicaba cómo contestar la actividad M1, y en otro más particular, se hizo una rejilla de argumentación de Toulmin sobre la clasificación de Odling. Por lo que la forma de diferenciar estos casos de un **DF incompleto** se hace clara.

Por su parte, la forma de diferenciar un **DF intermedio** de un **DF reproducible** es más discutible, ya que los diagramas intermedios abarcan un espectro continuo a partir de los diagramas mínimos hasta los más detallados, no obstante, los diagramas reproducibles son muy específicos, mencionan instrumentos de laboratorio, indican variables medibles como masa y volumen, e incluso, profundizan en detalles más técnicos (como la forma de trabajar con los óxidos gaseosos).

En la Tabla 24 se muestran las coocurrencias entre los distintos tipos de DF, y su presencia en los grupos de teoría y laboratorio. También se agrega el diagrama Sankey asociado a esta tabla en la Ilustración 15 como apoyo visual. En ambos se observa que la totalidad de los **DF reproducible** se presentan en grupos de laboratorio, mientras que en los grupos de teoría aparecen todas las respuestas en las que **No se propone un diseño experimental**. Empero, en los grupos de laboratorio también se encontraron cinco casos de **DF incompleto**, aunque contrasta ampliamente con los 22 hallados en los grupos de teoría.

Caso contrario, de los 21 casos de **DF intermedio**, nueve se presentaron en grupos de teoría y los 12 restantes en los grupos de laboratorio. Y respecto a los 16 casos de **DF mínimo requerido**, todos se concentraron en los grupos de teoría.

Tabla 24. Coocurrencias de la clasificación de los DF con los tipos de grupos.

	Grupos de teoría (69)	Grupos de laboratorio (26)
No se propone un diseño experimental (22)	22	
DF incompleto (27)	22	5
DF mínimo requerido (16)	16	
DF intermedio (21)	9	12
DF reproducible (9)		9

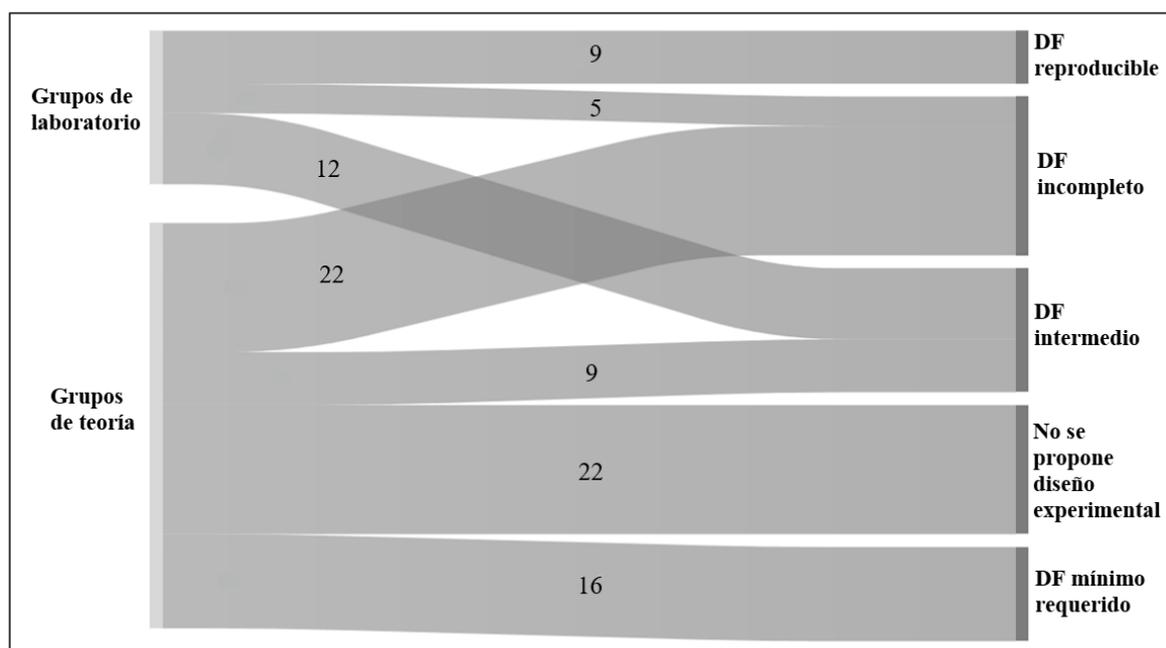


Ilustración 15. Diagrama Sankey de las coocurrencias entre la clasificación de los DF con los tipos de grupos.

Con esto es notorio que en los grupos de laboratorio se encontraron diagramas de flujo más detallado, mientras que en los grupos de teoría, algunas respuestas ni siquiera proponen el diseño experimental que se les solicita. Una explicación posible es que el

contexto bajo el que se responde una actividad influye en la manera que ésta es contestada, pues los alumnos de los grupos de laboratorio debían proponer un DF para posteriormente llevarlo a cabo, mientras que en los grupos de teoría sólo se queda en un mero planteamiento.

Los códigos del tema “Diseño del experimento” también ayudaron a diferenciar los tipos de DF. Estos ocho códigos pueden entenderse mejor al agruparse en tres bloques: uno sobre cómo se considera el manejo de los óxidos para plantear el experimento; otro que implica un planteamiento con mayor detalle del experimento; y el último bloque que refiere a la omisión de algunas sustancias en la propuesta experimental. Debido a que el objetivo de la actividad es proponer un DF experimental, no se profundiza en el análisis del código **No se propone diseño experimental.**

Tabla 25. Coocurrencias de los tipos de DF y los códigos relacionados con el diseño del experimento

	DF reproducible (9)	DF intermedio (21)	DF mínimo requerido (16)	DF incompleto (27)
Óxidos gaseosos (13)	8	5		
Óxidos sólidos (24)		13	4	7
Óxidos reactivos con agua (40)		7	15	18
Reacciones con NaOH y HCl (29)	9	13		7
Instrumentación (24)	9	11		4
Especifican variables medibles (10)	2	5		3
Sólo sustancias elementales (23)		5	8	10
Sólo óxidos señalados (1)			1	

En la Tabla 25 se muestran las coocurrencias de los cuatro tipos de DF con los códigos relacionados con el diseño del experimento. En primer término, se observa que, en los 9 enraizamientos de **DF reproducible**, se mencionan la **Instrumentación** que se debe usar y se incluyen las **Reacciones con NaOH y HCl** para poder trabajar con los óxidos que se señalan. Esto es necesario para que el experimento pueda llevarse a cabo y cumplir su objetivo, ya que los óxidos de silicio, aluminio, zinc, hierro, níquel y cobre no reaccionan directamente con agua, por lo que se deben plantear reacciones con sosa y ácido clorhídrico para determinar las propiedades ácido-base de dichos óxidos. Además, se tienen 8 coocurrencias con **Óxidos gaseosos**, lo que es necesario para solucionar el problema a la práctica que representan los óxidos de carbono y el azufre, principalmente. Por último, se aprecia que se tuvo flexibilidad respecto a la **Especificación de variables medibles**, lo que explica el bajo número de coocurrencias, esto fue así, porque si bien, definir variables como la masa de las sustancias o el volumen de agua para las disoluciones es importante para reproducir un experimento, este último no es tan sensible a ellas, y la observación del fenómeno que se desea estudiar se presenta en un intervalo amplio de estas variables.

También es posible observar que en los 21 casos de **DF intermedio** se hacen presentes otras características. Por ejemplo, en 13 respuestas se consideraron **Óxidos sólidos** para todos los elementos, lo que sí representa un problema para reproducir el experimento, al igual que suponer a los **Óxidos reactivos con agua**, ya que la determinación de las propiedades ácido-base de los óxidos señalados no se va a poder realizar. Por otro lado, hay cinco casos que omitieron dichos óxidos y consideraron **Sólo sustancias elementales**. Sin embargo, en algunos de estos diagramas también se llegaron a mencionar instrumentos de laboratorio, se incluyeron las reacciones con ácido y sosa, y se llegaron a especificar variables. Esto fue lo que permitió diferenciar un **DF intermedio** de un **DF mínimo requerido**.

Así, para los casos del **DF mínimo requerido**, no se cuenta ninguno que ofrezca información más detallada sobre el planteamiento del experimento, y se limitó a los diagramas en los que sólo se cumplen las características que los definen. Aun así, fue posible

observar cómo eran contemplados los óxidos (sólidos o reactivos con agua), y si se omitieron los óxidos señalados o las sustancias elementales (**Sólo óxidos señalados** (1 cooc.)).

La última columna de la Tabla 25 muestra aquellos casos que, pese a su variedad de coocurrencias, tienen una característica en común, que no cumplen con las cinco características que definen al **DF mínimo requerido**, y que se quedan como **DF incompleto**. Por ejemplo, de las 7 coocurrencias con **Reacciones con NaOH y HCl**, en la cita 11:78, aunque se plantean las reacciones con los óxidos señalados con sosa y ácido clorhídrico, no se indica como es que los cambios producidos en el medio de reacción permiten determinar el carácter ácido-base de los óxidos. En otras respuestas no se asoció el experimento con el objetivo de lograr una clasificación y el DF se detuvo en la determinación de pH, como en la cita 11:35, pese a que indicaron a través de esquemas qué instrumentos del laboratorio son necesarios. O incluso diagramas como los de 11:60, en los que no se oxidaron los elementos y se colocaron directamente en agua. Sin embargo, no se considera necesario ahondar más en estos casos particulares.

Tabla 26. Coocurrencias de los tipos de DF con los códigos que involucran pensamiento químico.

	DF reproducible (9)	DF intermedio (21)	DF mínimo requerido (16)	DF incompleto (27)
Carácter ácido-base para distinguir metales de no metales (19)	1	7	3	5
Clasificación metal-no metal antes de experimentar (10)		3	2	2
Agrupación de Odling (14)			1	7
No se relacionan fenómenos (19)	2	4	1	7
Valencia (13)	1	1	5	3

Por último, en la Tabla 26 se presentan las coocurrencias de los tipos de DF con los códigos que se relacionan con el pensamiento químico. Sorprende que el uso del **Carácter ácido-base para distinguir metales de no metales** sólo tenga 19 enraizamientos, pese a que en la actividad O1, el código **Identificación del carácter ácido-base de los óxidos** tuvo 85 enraizamientos (véase Tabla 13), a través del cual se identificó las respuestas en las que se asociaban metales con hidróxidos y no metales con ácidos. También es interesante el código **Clasificación metal-no metal antes de experimentar** (10 enr.), ya que los alumnos se adelantan a indicar qué elementos son metálicos y cuáles no, antes de saber qué propiedad ácido-base presentan sus óxidos. Esto abre un punto de discusión, ¿cuál es la relación entre la categoría “metal” y las propiedades ácido-base de los óxidos de los elementos? y ¿cómo es que se define un “metal”? Si bien, esta cuestión no será retomada en este trabajo, es una incógnita que surge a partir de este análisis y queda pendiente.

Por último, hay tres códigos que además de relacionarse con el pensamiento químico, también pueden revelar “concepciones alternativas” que se hacen presentes en esta actividad. Algunos estudiantes relacionaron la clasificación del experimento con la **Agrupación de Odling** (14 enr.), aunque en las instrucciones se les pide que lleguen a un arreglo más parecido al de la tabla periódica. Mientras, que otros recurrieron al concepto de **Valencia** (13 enr.) en el DF, pese a que no fuera algo que se pudiera determinar a través del experimento que se les solicitó. Es posible que, al pedir en las instrucciones una “*propuesta experimental que demuestra la clasificación hecha por Odling y que permita llegar a la tabla periódica moderna*” confunda a los estudiantes sobre qué considerar para plantear el experimento, ya que los grupos de Odling que se muestran en O1 no tienen explícita la valencia como en la tabla de Mendeléiev, por lo que en algunos diagramas se mencione la determinación de la valencia. Esto se reconsidera más adelante en la discusión.

Por último, los 19 enraizamientos en que **No se relacionan fenómenos**, muestran citas en las que no se asocia el objetivo de la propuesta experimental con los fenómenos involucrados, ya sea porque se omite la clasificación objetivo, o bien, porque se incluyen fenómenos que poco tienen que ver con la determinación del carácter ácido-base de los

óxidos, como la densidad, temperatura de fusión o hasta mencionar intercambios de electrones.

En resumen, esta actividad concluye definitivamente la secuencia didáctica. Para los grupos de teoría, significa la continuación del temario de la asignatura, y para los grupos de laboratorio, marca la pauta para llevar a cabo una práctica experimental relacionada con las propiedades periódicas de los elementos. Así, es evidente que se desarrolla la capacidad para diseñar experimentos como habilidad de pensamiento científico, aunque no se logra igual en todos los estudiantes.

5. Discusión

“Un maestro que sepa sobre la historia de su tema puede identificar cuándo sus alumnos están haciendo las mismas jugadas intelectuales que científicos previos y puede animarlos a reconsiderar los debates que tuvieron lugar en el pasado.”

-Michael R. Matthews (2017, p. 182)-

Para comenzar este apartado, se hace un recuento de las habilidades de pensamiento científico (HPC) encontradas en cada una de las actividades de la secuencia didáctica, lo cual se muestra en la Tabla 27, en las columnas están las actividades de acuerdo con su orden de aparición en la secuencia didáctica, y en los renglones las HPC ordenadas de acuerdo con la presencia que tuvo cada una a lo largo de la secuencia. Para cada actividad, se señalan las HPC principales y complementarias, según el desarrollo que estas tuvieron.

Tabla 27. Habilidades de pensamiento científico encontradas en cada actividad.

	D1	D2	D3	N1	N2	O1	O2	M1	M2	M3	E1
P.Q.	C	C	C	C	C	P	C	P	C	C	P
A.		P	P		P	C	P	C	C	C	
U.M.	C	C	C		C		C	P	C	C	
P.M.	P			C	C			C			
D.E.											P

Nomenclatura: P.Q.: Pensamiento químico; A.: Argumentación; U.M.: Uso de modelos; P.M.: Pensamiento matemático; D.E.: Diseño de experimentos; P: Principal; C: Complementario.

A partir de la Tabla 27 se presenta un resumen breve de cada actividad, para explicar cómo se dio el desarrollo de las HPC, así como la función narrativa que cumplen las actividades en la integración de la historia de la ciencia aplicada a la tabla periódica.

1. D1. Esta actividad muestra uno de los primeros intentos que hubo para agrupar elementos a partir de sus semejanzas y a través de una relación numérica. Estimula el **pensamiento matemático**, y en general se encontraron tres categorías para las respuestas. Pensamiento matemático lineal, a través del cual los estudiantes se mueven a través de la recta con uso

de sumas y restas; pensamiento matemático en términos de promedios, es el esperado para la actividad, además de las operaciones de suma y resta, se requiere el uso de divisiones; y pensamiento matemático divergente, en el que las relaciones matemáticas no corresponden con las dos anteriores, pero no se les puede juzgar de simples ni incorrectas.

2. D2. Es la primera actividad dirigida hacia la **argumentación** a través de la rejilla de argumentación de Toulmin, y contribuye a la actividad D1, para que los alumnos reconozcan la contribución que tuvieron las tríadas de Döbereiner al desarrollo de la tabla periódica.
3. D3. Esta actividad introduce la hipótesis de Prout, la cual impulsó al trabajo experimental durante el siglo XIX. Además, pretende relacionar el concepto moderno de “Isotopía” con la tabla periódica, el cual también abordó Schmidt et al. (2003) en su trabajo. La **argumentación** fue la HPC que más se desarrolla en esta actividad.
4. N1. El sistema de John Newlands es el primero en resaltar la periodicidad que tienen los elementos entre sí, y rompe con la concepción de que la tabla periódica de Mendeléiev es la única tabla que ha existido. Esta actividad conjunta al **pensamiento matemático** con el **pensamiento químico** de distintas maneras, lo que dio lugar a las diferentes tipologías encontradas en las respuestas.
5. N2. Es la segunda actividad que continúa con el desarrollo de la habilidad de **argumentación**, después de D2. A la vez, retoma al **pensamiento matemático** y al **pensamiento químico** de la actividad N1, y los articula en torno al **uso de modelos**.
6. O1. Gracias a los grupos naturales de Odling, se retoma la importancia que tuvo la química para lograr clasificar a los elementos mucho antes que la física moderna, a través de sus propiedades químicas, como la acidez y basicidad de los óxidos. La actividad permite que los estudiantes desarrollen el **pensamiento químico** en términos de la “Identidad química” de las sustancias y de la “Relación estructura-propiedades” propuestas por Weinrich y Talanquer (2015).
7. O2. Es la tercera y última actividad que implementa la rejilla de argumentación de Toulmin para estructurar un argumento. No obstante, en esta actividad no se pudo observar el desarrollo de la **argumentación** como HPC.

8. M1. Mendeléiev es una figura imprescindible cuando se habla del desarrollo de la tabla periódica, dada su gran aportación a la clasificación de los elementos a través de un sistema muy parecido al que conocemos hoy en día y con poder predictivo. Si bien, esta actividad se suma a la tradición de armar un rompecabezas a partir de tarjetas que contienen información sobre los “elementos” (Criswell, 2007), también permite que los estudiantes integren al **pensamiento químico** con el **uso de modelos**, además de que se encontró que también incorpora a la **argumentación** y al **pensamiento matemático**. A través de la actividad de Mendeléiev, se puede "evaluar" la calidad de los modelos que pueden hacer los estudiantes. Los parámetros que consideran para delimitar lo que quieren representar, si son o no capaces de manejar información abstracta, las consideraciones que toman de acuerdo con su conocimiento previo de otros modelos y el valor que le atribuyen a un modelo con base en su facilidad para hacer predicciones.
9. M2. Es un complemento de la actividad anterior, a través de la cual, los estudiantes deben comparar sus propuestas con la de Mendeléiev, su función es retroalimentar y no se aprecia un desarrollo de las HPC.
10. M3. Con esta actividad se incluye el sistema periódico de Lothar Meyer, el cual se publicó casi al mismo tiempo que el de Mendeléiev, y que se complementa con una gráfica de una propiedad periódica, con un comportamiento característico de la periodicidad. Junto con la actividad anterior, M2, permite ir dando un cierre a la secuencia didáctica a través de la retroalimentación, al comparar distintos sistemas periódicos.
11. E1. Esta actividad se relaciona con las ideas de William Odling, salvo que a diferencia de O1, está enfocada al **diseño de experimentos**, habilidad fundamental para la formación de estudiantes en carreras relacionada con la química. Se observó una diferencia entre los grupos de teoría y de laboratorio, siendo los últimos, aquellos donde el desarrollo del **diseño de experimentos** como HPC fue más evidente. Además, el **pensamiento químico** estuvo presente a través de la “Relación estructura-propiedades”.

Se observa entonces, que desarrollar HPC es posible a través de un enfoque de indagación, auxiliado con la historia de la ciencia. Aunque no todas las habilidades están presentes en todas las actividades, estas pueden presentarse de manera acompañadas, ya sea con menor o mayor relevancia, según sea el propósito de la actividad.

Ahora, se presentan las discusiones particulares que surgieron durante el análisis de las actividades. También es pertinente discutir el alcance de algunas de ellas, e indicar si es posible hacerles modificaciones. El orden que tienen las discusiones particulares corresponde con su orden de aparición en el análisis, el cual es fácil de seguir debido al mismo orden que llevan las actividades.

En D3, se abrió la interrogante de si es posible dirigir las justificaciones que lleven a rechazar la hipótesis de Prout hacia el concepto de isotopía. Las instrucciones actuales de esta actividad indican: “*Actividad 3. a) Propón una triada de elementos en donde se cumpla con la relación que propuso Döbereiner y con la propuesta de Prout. Si no la encuentras justifica por qué crees que no fue así. b) Explica las razones por las que ambos modelos no fueron fructíferos.*” (véase el Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica). Se sugiere el siguiente cambio: “*Actividad 3. a) Propón una tríada de elementos en donde se cumpla con la relación que propuso Döbereiner y con la propuesta de Prout. Si no la encuentras justifica por qué crees que no fue así. b) **Explica ¿Por qué los valores de masa actuales no son números enteros?***”

Este cambio en el segundo inciso se hace por dos razones. La primera, porque se espera que con esa pregunta un mayor número de estudiantes recuerden que los valores de masa atómica actuales se calculan a partir de la masa de los isótopos y sus abundancias relativas. Y aunque esto acota más el tipo de respuestas que se pueden obtener, también se espera que disminuyan las respuestas sin fundamento o sin justificación. La segunda razón, es porque se corre el riesgo de que los estudiantes se queden con la impresión de que las ideas de Döbereiner y William Prout en verdad fueron infructuosas, siendo que ambas fueron más que influyentes durante todo el siglo XIX. Por ejemplo, las tríadas avanzaron hasta las supertríadas propuestas por Ernst Lenssen en 1857 (Scerri, 2019), y cuando Thomson descubrió al electrón 1897, consideró la hipótesis de Prout para dar una posible interpretación a los resultados de su investigación (Sánchez Ron, 1997, p. 160).

En N1 también se abrió la cuestión de si es necesario proponer alguna modificación a las instrucciones con dos propósitos, propiciar más respuestas de “tipo C” (aquellas donde se identificaron familias, se respetó el orden creciente de masa y no se colocaron los elementos

aún no descubiertos) e integrar mejor las justificaciones, ya que las respuestas sin justificar fueron considerables. La instrucción de la actividad dice: “*Actividad 4. Con la información anterior, completa la tabla de Newlands como consideres de acuerdo a los elementos que se conocían hasta la fecha. Justifica tu respuesta.*”. Se sugiere el siguiente cambio: “*Actividad 4. Con la información anterior, completa la tabla de Newlands como consideres de acuerdo con los elementos que se conocían hasta la fecha. **Explica ¿Qué asociación hay entre los elementos de una columna?***”

El cambio de “*Justifica tu respuesta.*” por una pregunta más directa se espera que, en primer lugar, solucione el problema de la omisión de la justificación. Por otro lado, se espera que la misma pregunta sugiera a los estudiantes que deben encontrar algo en común en los elementos de una columna, lo que disminuiría el número de respuestas en las que los elementos se colocan de manera consecutiva. Además, otra pregunta para referir a los elementos de un mismo renglón se considera innecesaria por el momento, ya que los estudiantes no tuvieron ningún problema en ordenar los elementos según su masa atómica.

En las actividades N₂ y O₂, debido a la pérdida de citas y el incremento en el número de respuestas vacías, surge la pregunta ¿Se debe al desinterés ante este tipo de actividades, o a una genuina dificultad asociada a las rejillas de argumentación de Toulmin? Puede ser que haya un poco de ambos motivos, ya que la misma dificultad puede generar desdén por este tipo de actividades, sin embargo, la dificultad es la que aparece primero. De hecho, los resultados del análisis de O₂ indican que los estudiantes sí se preocupan por hacer las RAT, aunque no tengan muy claro el cómo hacerlas. La capacidad para argumentar es algo que se ejercita y que mejora con el tiempo. Empero, para mejorar continuamente, también se debe evaluar, y en este sentido se vuelve importante estudiar la forma de evaluar las RAT. Argumentar no es algo que depende sólo de los contenidos de las oraciones, sino también de las relaciones lógicas de sus enunciados, que se someten a juicios de verdadero o falso al ser contrastados con la realidad a que refieren, y que cargan con un sentido, un significado que debe interpretarse.

Aunado a esto, es importante hacer que los estudiantes tengan en cuenta que no todos los enunciados pueden ser una garantía, o un sustento. Por ejemplo, que tengan presente que un

sustento puede ser un modelo, una teoría, o incluso una norma, a partir de las cuales es posible generar explicaciones (garantía) para defender a la premisa del argumento, para que así, el sustento no se convierta en sólo una expansión de la garantía.

Esto se relaciona con la otra discusión que surge de N2 sobre el uso frecuente de la palabra “modelo”. Si los estudiantes en verdad identifican qué es un modelo y logran apreciarlos a través del desarrollo histórico como tal, se abre la puerta a investigaciones sobre qué construcciones se hacen los alumnos en torno a los modelos y más preguntas en esa vía. Caso contrario, si sólo usan la palabra porque está ahí, sin detenerse a pensar en su significado, entonces su uso no podría tener más interpretación que cualquier adjetivo calificativo.

Lo que se expone a continuación es una mera especulación: así como los niños aprenden a hablar, aprendiendo palabras por el uso que se les da, y no tanto por la definición precisa que éstas tienen, también los estudiantes de educación superior incluyen nuevos conceptos en su vocabulario que posteriormente pueden ser aclarados por una definición precisa. A partir de esta idea, que por el momento carece de un fundamento teórico, se abre la posibilidad de encontrar un provecho al segundo caso, el de los modelos como “adjetivos calificativos”. Este punto puede ser respaldado por la teoría cognoscitiva, como se menciona en el libro de Ausubel, Novak y Hanesian (*Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo.*, 1983, p. 87): *“Los nombres de los conceptos no necesariamente tienen los mismos significados para personas con diferentes grados de madurez cognoscitiva. Esto obedece a que los niños [...] no tienen otra alternativa que utilizar los nombres precisos de los conceptos culturalmente estandarizados para los conceptos cuyos significados, para el niño, todavía son vagos, difusos, sobreinclusivos o subinclusivos.”*

Se considera que el concepto (o noción) de “modelo” tiene el nivel de abstracción suficiente, como para extrapolar la teoría cognoscitiva aplicada en niños, a estudiantes de educación superior. Así, es posible que la o el docente, aproveche esta situación en favor de la enseñanza respecto a los modelos en la ciencia.

A propósito de la repetición de un único término en N2, en O2 esta situación se magnificó, y en varias respuestas, los estudiantes en lugar de construir un argumento propio optaron por tomar “prestados” varios de los enunciados que se contienen en la narrativa que dirige la actividad. La instrucción señalada para esta actividad es: “*Actividad 7. Utiliza el diagrama de argumentación de Toulmin para manifestar la importancia del modelo de Odling en el desarrollo de la tabla periódica.*”. Es posible que esta indicación sea muy abierta, de hecho, pocas respuestas de las 71 registradas, retoman lo que se hizo en la actividad O1. Así, se sugiere el siguiente cambio: “*Actividad 7. Utiliza el diagrama de argumentación de Toulmin para manifestar la importancia **que tuvieron las propiedades ácido-base en el desarrollo de la tabla periódica.***”. Con este cambio se espera que los alumnos no pierdan de vista este criterio químico, y se disminuya el “préstamo” de enunciados de la misma actividad.

Siguiendo con las discusiones particulares, en la actividad O1 apareció un código que refiere específicamente a concepciones alternativas. Y si bien, el propósito principal de este trabajo no es estudiar las concepciones alternativas por sí mismas, éstas tampoco pueden ser ignoradas. De hecho, O1 no es la única actividad que presenta dichas concepciones, sino que en actividades anteriores se habían incluido en el código **Sin fundamento**, y también aparecieron en actividades posteriores como en E1, cuando los estudiantes consideraron que todos los óxidos son sólidos o que todos reaccionan con agua. Empero, en O1, estas concepciones se hacen muy evidentes, ya que las respuestas requieren de explicaciones sobre la formación de ácidos y bases.

Es posible que algunos detalles de la actividad que pasan desapercibidos por los estudiantes puedan crear nuevas concepciones alternativas en los estudiantes, y ese sería un defecto de esta secuencia didáctica que habría de considerarse para ser retomado en el aula con los alumnos y evitar ese problema. Por ejemplo, se considera pertinente comentar a los estudiantes que la enumeración de los grupos en O1 sólo es con fines nominativos y que este número no tiene ninguna implicación en el comportamiento o las propiedades de los elementos que incluyen. Así como también se recomienda advertir sobre la inexistencia del óxido de flúor, ya sea antes de la actividad, o después de que la hayan resuelto.

A lo largo de las citas que ejemplifican el uso de los códigos asociados a cada actividad, se pueden seguir encontrando concepciones alternativas, pero un estudio dedicado exclusivamente a ello precisa de una codificación con un enfoque distinto.

Para el caso de M2 se propone incluir en las instrucciones que los alumnos mencionen mejoras que pueden hacer al sistema que construyeron a partir de la comparación de los sistemas. La instrucción original es: “*Actividad 9. a) Compara la Tabla periódica de Mendeléiev con la propuesta realizada por tu equipo. En qué son diferentes, en qué son similares. Justifiquen ampliamente su respuesta. b) Indica lo que se representa en la parte superior de cada columna y compáralo con tu propia interpretación.*”. El cambio que se sugiere es el siguiente: “*Actividad 9. a) Compara la Tabla periódica de Mendeléiev con la propuesta realizada por tu equipo. En qué son diferentes, en qué son similares, **y qué mejoras le harías a tu propuesta.** Justifiquen ampliamente su respuesta. b) Indica lo que se representa en la parte superior de cada columna y compáralo con tu propia interpretación.*”

Se espera que el efecto de retroalimentación que tiene esta actividad se vea reforzado, y además, que los estudiantes miren al sistema que construyeron con una mirada un poco más crítica.

Por su parte, el contenido de la actividad M3 tiene potencial para ser una actividad independiente por sí misma. El análisis reveló que la mayoría de los estudiantes no comprendieron cómo está conformado el sistema de Lothar Meyer, y no lograron interpretarlo, pese a que tiene muchos puntos en común con el sistema de Mendeléiev. Sin embargo, las ideas de Meyer se consideran un aporte valioso, en especial por la gráfica que incorpora. Como se mencionó antes, la gráfica que hizo Meyer de volumen atómico contra masa atómica se ve como la actual gráfica de energía de ionización contra el número atómico, es decir, la gráfica tiene un aspecto visual muy parecido, a través del cual la periodicidad de los elementos es evidente.

Así, se mantiene abierta la posibilidad de producir una nueva actividad para abordar el tema de tabla periódica y propiedades periódicas, comparando el sistema propuesto por Meyer y su gráfica con las propiedades periódicas que aparecieron en el siglo XX con fundamento en la física, como la energía de ionización, el radio atómico y la

electronegatividad. Esto parece mejor opción, en lugar de simplemente excluir la propuesta de Meyer de las aulas. Como mencionan Flores y Gallegos (1993, p. 27): *“Debe cuidarse de no considerar el desarrollo cognoscitivo como una especie de freno u obstáculo que impide la comprensión de cierto tipo de conceptos científicos, sino considerar que sus características determinan el punto de partida sobre la cual construir la propuestas de aprendizaje.”*

De la última actividad, E1, emergió un tema a discutir y que merece ser presentado a los alumnos antes de que resuelvan esta actividad. El problema de la reproducibilidad en la ciencia. Cuando los estudiantes proponen sus diagramas de flujo, deben estar conscientes de que dicho diagrama debe poder ser reproducido por una tercera persona. La reproducibilidad es un tema constante en la ciencia y se debe fomentar desde los primeros cursos de educación superior. Como apunta Baker en su artículo (2016, p. 452), *“más del 70% de los investigadores han intentado y fallado en reproducir los experimentos de otro científico, y más de la mitad han fallado al reproducir sus propios experimentos”*. Este trabajo es resultado de una encuesta realizada a 1576 investigadores distribuidos en las siguientes categorías: química, física e ingeniería, ciencias ambientales y de la tierra, biología, medicina y “otras”. Y más del 40% indican que uno de los factores que contribuye a que una investigación no sea reproducible, es el pobre diseño experimental. Una parte de este problema puede comenzar a solucionarse desde las aulas.

Finalmente, hay una cuestión que se debe aclarar, y es que se debe tener en cuenta que las actividades se resuelven en equipo, las respuestas no corresponden a estudiantes como individuos, sino a grupos de estudiantes, y dentro de cada equipo hay distintas ideas que deben discutirse y negociarse para llegar a un acuerdo de cuál es la respuesta que representará al equipo. En esta investigación, sólo un código de una actividad se refirió al respecto (**Síntesis de modelos** en la M1), y estudiar este fenómeno requiere de otro tipo de investigación con otra metodología, sin embargo, es importante tener en cuenta que hay un factor de interacción social en las actividades que se resuelven por equipos.

6. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se logró identificar el desarrollo de habilidades de pensamiento científico a través de las actividades que conforman la secuencia didáctica que se muestra en el Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica, en la enseñanza del tema de tabla periódica y propiedades periódicas.

Además, como se mostró en la Tabla 27, fue posible desarrollar múltiples HPC de manera simultánea, ya que estas se complementan de acuerdo con los contenidos involucrados en cada actividad. Las habilidades se relacionan de distinta manera, y se pudo encontrar algunos patrones y tipologías en que esto sucede, por lo que sus interacciones son complejas y su desarrollo se presenta de forma diferente en cada estudiante.

La apertura del enfoque de indagación permite que las HPC se desarrollen de formas diversas en los estudiantes. Mientras que la perspectiva de historia de la ciencia ofrece distintos escenarios y contextos para que se desarrollen las HPC.

Entre las ventajas de aplicar una secuencia didáctica como la que se mostró en este trabajo, se tiene: la compatibilidad que presenta para adecuarse a las distintas formas de pensamiento de los estudiantes; la flexibilidad que admite para que de una u otra manera se desarrollen HPC; y la apertura hacia los temas que permite incluir en la enseñanza de la ciencia y que bajo un enfoque tradicional de la enseñanza sería más difícil de relacionar y dar un significado (como el caso de la reproducibilidad o la importancia de los modelos en la ciencia).

Por otro lado, también presenta algunas desventajas, como: el mayor tiempo de clases requerido para que se lleve a cabo; la preparación que exige por parte del cuerpo docente para poder llevar discusiones en el aula entre cada ciertas actividades, para retomar los conceptos y los hechos de relevancia; y el nivel de involucramiento activo que requiere por parte de los estudiantes para resolver las actividades.

De acuerdo con la revisión que se hizo en el capítulo 2.5 Enfoques alternativos para la enseñanza de la tabla periódica y propiedades periódicas. sobre los enfoques alternativos para la enseñanza del tema de tabla periódica y propiedades periódicas, se puede afirmar que

la secuencia didáctica presentada es única, tanto en el planteamiento de sus actividades, como en los resultados que pueden obtenerse a partir de ella, ya que hay pocas propuestas que se hacen con un enfoque de indagación y contextualizadas a partir de la historia de la ciencia. Además, lo que se espera de todas las actividades, en el fondo, es invitar a los estudiantes a pensar, de manera estructurada, a través de las habilidades de pensamiento científico.

Con este tipo de actividades también se da un argumento en contra de la reducción de la química a la física. Pues acercarse a la química de una manera que se prescindiera de la física moderna desarrollada en el siglo XX, permite redescubrir aquellas ideas que han prevalecido en la química, y cuyo origen se remonta al siglo XIX, tales como, la valencia, las propiedades ácido-base, la periodicidad, y por supuesto, la tabla periódica de los elementos. Entendiendo además al elemento, como una entidad individual abstracta que no requiere de la existencia de los átomos.

Así, para formar químicos, se necesita que entiendan la química desde las construcciones propias de su disciplina, a través de sus tradiciones e historia, y después, entonces sí, abordar a la química desde la física, pero sin tanto riesgo de cometer errores epistemológicos como el reduccionismo.

Por último, se remarca la importancia y la novedad que tuvo el uso del software de análisis cualitativo ATLAS.ti para el estudio de este tipo de actividades, ya que permitió obtener resultados que difícilmente se hubieran logrado con alguna otra técnica.

Bibliografía

- Agudejo Carvajal, C. G. (2015). *La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química. Clasificar o aprender*. España: UAB, Facultat de Ciències de l'Educació. Tesis doctoral.
- Allchin, D. (2020). Historical Inquiry Cases for Teaching Nature of Science Analytical Skills. En W. F. McComas (Ed.), *Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies* (pp. XXIV, 748). Cham, Suiza: Springer.
- Alonso, D., y Fuentes, L. J. (2001). Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático. *Revista de Neurología*, 33(6), 568-576.
- Andino Enríquez, J. E., Andino Enríquez, M. A., Hidalgo Báez, F. E., Chalán Gualán, S. P., Gualapuro Gualapuro, S. D., Belli, S., y Chicaiza Lema, M. B. (2022). Adaptation of the Periodic Table to Kichwa: An Ecuadorian Native Language. *Journal of Chemical Education*, 99, 211-218.
- Ariza, Y. (2022). La noción de “modelo teórico” en la enseñanza de la química: representación y función del sistema periódico. *Educación Química*, 33(4), 97-110.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., y Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. (2ª ed.). México: Trillas.
- Baker, M. (2016). Is there a reproducibility crisis? *Nature*, 533, 452-454.
- Bargalló, M. (1962). *Tratado de Química inorgánica*. México, D.F.: Porrúa S.A.
- Barrow, L. H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265-278.
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio. *Educación Química*, 15 (3), 210-217.
- Ben Zvi, N., y Genut, S. (1998). Uses and limitations of scientific models: the Periodic Table as an inductive tool. *International Journal of Science Education*, 20(3), 351-360.

- BHL. (s.f.). Biodiversity Heritage Library: <https://www.biodiversitylibrary.org>
- Caamaño, A., y Irazoque, G. (2009). La enseñanza y el aprendizaje de la terminología química: magnitudes y símbolos. *Educación Química*, n. 3, 46-55.
- Camacho González, J. P., Gallego Badillo, R., y Pérez Miranda, R. (2007). La ley periódica. Un análisis histórico epistemológico y didáctico de algunos textos de enseñanza. *Educación Química*, 18(4), 278-288.
- Casasola Rivera, W. (2020). El papel de la didáctica en los procesos de enseñanza y aprendizaje universitarios. *Comunicación*, Año 41, 29(1), 38-51.
- Castro Martínez, E., Rico Romero, L., y Romero Abaladejo, I. (1997). Sistemas De Representación Y Aprendizaje De Estructuras Numéricas. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 361-371.
- Chamizo, J. A. (2013). A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching. *Science & Education*, 22, 1613-1632.
- Chamizo, J. A. (2017). *Habilidades de pensamiento científico*. Ciudad de México, México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/educacion/libros/014_Habilidades_pensamiento_cientifico.pdf
- Clan Campbell Society (North America). (s.f.). Retrieved 13 de marzo de 2023, from <https://www.ccsna.org/george-campbell-8th-duke-of-argyll>
- Criswell, B. (2007). Mistake of Having Students Be Mendeleev for Just a Day. *Journal of Chemical Education*, 84(7), 1140-1144.
- de Berg, K. C. (2014). The Place of the History of Chemistry in the Teaching and Learning of Chemistry. En M. R. Matthews, *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 317-341). Dordrecht: Springer.

- Demircioğlu, H., Demircioğlu, G., y Çalik, M. (2009). Investigating the effectiveness of storylines embedded within a context-based approach: the case for the Periodic Table. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 241-249.
- Dewey, J. (1910). Science as Subject-Matter and as Method. *American Association for the Advancement of Science*, 31(787), 121-127.
- Diener, L., y Moore, J. W. (2011). IT'S ELEMENTAL! Using the Periodic Table Live! to teach students about the elements. *The Science Teacher*, 78(5), 40-43.
- Dreyfus, T. (2002). Advanced Mathematical Thinking Processes. En D. Tall (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking* (pp. 25-41). Estados Unidos de América: Kluwer Academic Publishers.
- Farrer, N. J., Monk, N., Heron, J., Lough, J. A., y Sadler, P. J. (2010). (RSC)²: chemistry, performance, and pedagogy – an interactive approach to periodic trends. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 308-313.
- Flick, L. B., y Lederman, N. G. (Edits.). (2006). *Scientific Inquiry and Nature of Science*. Dordrecht: Springer.
- Flores López, A., Sosa Martínez, B., Méndez Alonso, J. M., Catarino Centeno, R., y García Hernández, E. (2022). Adaptación de la Tabla Periódica al náhuatl: una propuesta para la enseñanza e inclusión. *Educación Química*, 33(4), 65-85.
- Flores, F., y Gallegos, L. (1993). Consideraciones sobre la estructura de las teorías científicas y la enseñanza de la ciencia. *Perfiles Educativos*, 62, 24-37.
- Fontes, S., y Fontes, A. I. (1994). Consideraciones Teóricas Sobre Las Leyes Psicofísicas. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 47(4), 391-395.
- Franco Mariscal, A. J., Oliva Martínez, J. M., y Bernal Márquez, S. (2012). An Educational Card Game for Learning Families of Chemical Elements. *Journal of Chemical Education*, 89, 1044-1046.

- Friese, S. (15 de 12 de 2021). *ATLAS.ti 9 User Manual*. Introduction:
<https://doc.atlasti.com/ManualWin.v9/Intro/Introduction.html>
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Uribe Beltrán, M. V., Cuéllar Fernández, L., y Amador Rodríguez, R. Y. (2004). El Concepto de Valencia: Su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciência & Educação*, 10(3), 571-583.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., y Figueroa Molina, R. (2010). La matematización de los procesos químicos. Primera Parte. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 27, 94-107.
- Garriz, A. (2006). Naturaleza de la Ciencia e Indagación: Cuestiones Fundamentales para la Educación Científica del Ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42, 127-152.
- Glasstone, S. (1947). William Prout (1785-1850). *Journal of Chemical Education*, 24 (10), 478-481.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª ed.). México: McGraw-Hill Education.
- Hodson, D. (1993). Re-Thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In Science School. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Jenkins, E. W. (1990). The history of science in British schools: retrospect. *International Journal of Science Education*, 12(3), 274-281.
- 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*, 91, 864-867.
- Kelter, P., Mosher, M., y Scott, A. (2009). *Chemistry. The Practical Science*. U.S.A.: Houghton Mifflin.
- Laing, M. (2008). The Different Periodic Tables of Dmitrii Mendeleev. *Journal of Chemical Education*, 85(1), 63-67.

- Lakatos Osorio, V. K., Tiedemann, P. W., y Alves Porto, P. (2007). Primo Levi and The Periodic Table: Teaching Chemistry Using a Literary Text. *Journal of Chemical Education*, 84(5), 775-778.
- 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*, 89, 1491-1498.
- Lavín Arteaga, K. (2014). Desarrollo del pensamiento científico por medio de la metodología de grupos interactivos. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 13(26), 67-80.
- Lederman, N. G., Bartos, S. A., y Lederman, J. S. (2014). The Development, Use, and Interpretation of Nature of Science Assessments. En M. R. Matthews, *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 971-997). Dordrecht: Springer.
- Lesh, R. (1997). Matematización: La Necesidad "Real" De La Fluidez En Las Representaciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 377-391.
- Lombardi , O. I. (1997). La Pertinencia de la Historia en la Enseñanza de las Ciencias: Argumentos y Contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias* , 15(3), 343-349.
- Lombardi, O. (2007). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, II(4), 5-13.
- Matthews, M. R. (Ed.). (2014). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht: Springer.
- Matthews, M. R. (2017). *La enseñanza de la ciencia. Un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Matthews, M. R. (2022). Thomas Kuhn and the Science Education. *Science & Education*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11191-022-00408-1>
- McComas, W. F. (2020). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. En W. F. McComas (Ed.), *Nature of Science*

- in Science Instruction. Rationales and Strategies.* (pp. XXIV, 748). Cham, Suiza: Springer.
- McKinney, D., y Michalovic, M. (2004). Teaching the Stories of Scientists and their Discoveries. *The Science Teacher*, 71(9), 46-51.
- Merck KGaA. (2018). Merck PTE (2.1.0.19046). Alemania. Google Play.
https://play.google.com/store/apps/details?id=de.merck.pt&hl=es_MX&gl=US&pli=1
- Meyer, L. (1864). *Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik*. Breslau: Maruschke & Berendt.
- Meyer, L., y Mendeléiev, D. (1895). *Das Natürliche System der chemischen Elemente*. (K. Seubert, Ed.) Leipzig: Wilhelm Engelman.
- Montaño Hilario, J. M., y Padilla Martínez, K. (2020). Implementación y evaluación de la habilidad de argumentación en las clases de química del bachillerato. *Educación Química*, 31(2), 51-68.
- Montejo Bernardo, J. M., y Fernández González, A. (2021). Chemical Battleship: Discovering and Learning the Periodic Table Playing a Didactic and Strategic Board Game. *Journal of Chemical Education*, 98, 907-914.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00553>
- Nargund, V., y Park Rogers, M. A. (2009). That Is Not Where That Element Goes... Ah, the Nature of Science. *Science Scope*, 33(2), 22-29.
- Newlands, J. A. (1884). *On the Discovery of the Periodic Law and on Relations Among the Atomic Weights*. Londres: E. & F. N. Spon.
- Niaz, M. (2005). ¿Por qué los libros de texto general no cambian y siguen una 'retórica de conclusiones'? *Educación Química*, 16(3), 410-415.
- Nott, M., y Wellington, J. (2002). A Programme for Developing Understanding of the Nature of Science in Teacher Education. En W. F. McComas (Ed.), *The Nature of*

Science in Science Education. Rationales and Strategies (pp. 293-314). U.S.A.: Kluwer Academic Publishers.

Odling, W. (1857). On the Natural Grouping of the Elements. Part I. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science.*, 13(4), 423-439. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/15832317>

Odling, W. (1857). On the Natural Grouping of the Elements. Part II. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science.*, 13(4), 480-497. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/15832374>

Odling, W. (1861). *A Manual of Chemistry. Descriptive and Theoretical*. Londres: Spottiswoode and Co.

Odling, W. (1864). ON THE PROPORTIONAL NUMBERS OF THE ELEMENTS. *The Quarterly Journal of Science*, Volumen I, 642-648. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/15275799>

Oh, P. S., y Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Model: An Overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.

Penagos, M., Mariño, L. F., y Hernández, R. V. (2017). Pensamiento matemático elemental y avanzado como actividad humana en permanente evolución. *Perspectivas*, 2(1), 105-116.

PRIMAS Project. (2013). *Inquiry-based learning in maths and science classes*. Freiburg, Alemania: Pädagogische Hochschule Freiburg.

Prout, W. (1815). On the Relation between the Specific Gravities of Bodies in their Gaseous State and the Weights of their Atoms. *Annals of Philosophy*, 6, 321-330. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/15907302>

Prout, W. (1816). Correction of a Mistake in the Essay on the Relation between the Specific Gravities of Bodies in their Gaseous State and the Weights of thier Atoms. *Annals of Philosophy*, 7, 111-113. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/15907474>

- Reyes Cárdenas, F., Ruiz Herrera, B., Llano Lomas, M., Lechuga Uribe, P., y Mena Zepeda, M. (2021). El aprendizaje de la reacción química: el uso de modelos en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 103-122.
- Reyes-Cárdenas, F., y Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415-421.
- Rodríguez Bello, L. I. (2004). El modelo argumentativo de Toulmin en la escritura de artículos de investigación educativa. *Revista Digital Universitaria*.
https://www.revista.unam.mx/vol.5/num1/art2/ene_art2.pdf
- Román Polo, P. (2010). El sesquicentenario del Primer Congreso Internacional de Químicos. *Anales de Química de la RSEQ*, 106(3), 231-239.
- Sánchez Ron, J. M. (1997). J. J. Thomson y la génesis del descubrimiento del electrón. *Arbor*, 158(622), 137-171.
- Scerri, E. (2019). *The periodic table: its story and its significance* (Segunda ed.). New York: Oxford University Press.
- 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*, 40(3), 257-277.
- Schultz, E. (2005). Fully Exploiting the Potential of the Periodic Table through Pattern Recognition. *Journal of Chemical Education*, 82(11), 1649-1657.
- Schwab, J. (1958). The Teaching of Science as Inquiry. *Bulletin of the Atomic Scientist*, 14(9), 374-379.
- Schwab, J. J., y Brandwein, P. F. (1966). *The Teaching of Science*. Cambridge, Massachusetts, U.S.A.: Harvard University Press.
- Schwartz, R., y Lederman, N. (2008). What Scientists Say: Scientists' views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6), 727-771.

- Sevcik, R. S., McGinty, R. L., y Schultz, L. D. (2008). Periodic Table Target: A Game That Introduces the Biological Significance of Chemical Element Periodicity. *Journal of Chemical Education*, 85(4), 516-517.
- Sshana, Z. J., y Abulibdeh, E. S. (2020). Science practical work and its impact on students' science achievement. *Journal of Technology and Science Education*, 10(2), 199-215.
- Struyf, J. (2009). Relating Functional Groups to the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, 86(2), 190-193.
- Talanquer, V. (2021). Multifaceted Chemical Thinking: A Core Competence. *Journal of Chemical Education*, 98, 3450-3456.
- Thornton, J., y Wiles, A. (1956). William Odling, 1829-1921. *Annals of Science*, 12(4), 288-295.
- Valera Flores, R. K., y Padilla Martínez, K. (2022). Comprendiendo el enfoque 3D (conceptos centrales (DCI's), conceptos transversales (CCC's) y prácticas científicas (SEP's)): Una propuesta de enseñanza para la química. *Educación Química*, 33(4), 123-142.
- van Spronsen, J. W. (1969). *The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years*. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Vázquez Alonso, Á., Acevedo Díaz, J. A., y Manassero Mas, M. A. (2004). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: Evidencias e implicaciones para su enseñanza. *Revista Iberoamericana de Educación*, 34(1), 1-37.
- Venable, F. P. (1896). *The development of the periodic law*. Easton, Pensilvania, U.S.A.: Chemical Publishing Co.
- Weinrich, M. L., y Talanquer, V. (2015). Mapping students' conceptual modes when thinking about chemical reactions used to make a desired product. *Chemistry Education Research and Practice*, 16, 561-577.

- Wilson, E., Warwick, P., Chaplain, R., Stutchbury, K., Fox, A., Evans, M., . . . Counsell, C. (2013). *School-based Research* (2^a ed.). (E. Wilson, Ed.) SAGE.
- Winter, M. J. (2011). Diffusion Cartograms for the Display of Periodic Table Data. *Journal of Chemical Education*, 88, 1507-1510.
- Woelk, K. (2009). Matching Element Symbols with State Abbreviations. *Journal of Chemical Education*, 86(10), 1205-1207.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27, 172-223.

Apéndice 1. Propuesta didáctica para la enseñanza de tabla periódica

Cortesía de la Dra. Kira Padilla Martínez.

Clasificaciones periódicas

La primera clasificación basada en las masas atómicas fue elaborada por el químico alemán Johan Wolfgang Döbereiner (1780 – 1849), quien en 1817 propuso que existía una sencilla relación numérica entre las masas atómicas de los elementos con propiedades semejantes (reaccionaban con las mismas sustancias, lo hacían en las mismas proporciones, etcétera). Curiosamente, siempre eran tres las sustancias que se parecían entre sí. Döbereiner identificó varios grupos de tres a los que llamó triadas. En la tabla siguiente se muestran algunas de las triadas descubiertas por Döbereiner.

Tabla 2.1. Triadas de Döbereiner

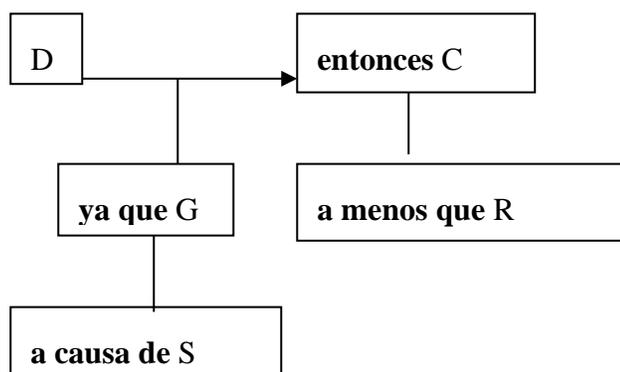
Litio	Calcio	Azufre
Sodio	Estroncio	Selenio
Potasio	Bario	Teluro

El elemento de en medio no sólo tenía una reactividad química intermedia, sino que también tenía una masa atómica intermedia.

Actividad 1. Döbereiner encontró una relación muy curiosa entre las masas de los elementos que conformaban su triada. Usa la tabla siguiente para determinar cuál era esa relación matemática, explícala.

Elemento	Masa atómica relativa
Azufre	32.24
Selenio	79.26
Telurio	129.24

Actividad 2. Utiliza el diagrama de argumentación de Toulmin para contestar la siguiente pregunta ¿Por qué crees que este descubrimiento fue importante?



Un poco antes de Döbereiner, en 1815, el físico radicado en Londres, William Prout, había propuesto otro principio general. Prout notó que las masas atómicas de muchos elementos parecían ser múltiplos enteros de la masa del hidrógeno. Otros químicos descubrieron todavía más triadas y empezaron a hacer tablas que también pretendían relacionar las triadas entre sí. Pero algunas de estas contribuciones no fueron más que mera numerología, sobre todo porque no tenían que ver con las similitudes químicas entre las sustancias elementales.

Actividad 3. a) Propón una triada de elementos en dónde se cumpla con la relación que propuso Döbereiner y con la propuesta de Prout. Si no la encuentras justifica por qué crees que no fue así.

b) Explica las razones por las que ambos modelos no fueron fructíferos.

En 1864, con valores correctos a la mano, el químico inglés John Alexander Reina Newlands (1837-1898), al ordenar los elementos en orden creciente de sus masas atómicas (sin incluir al hidrógeno), encontró que el octavo elemento, a partir de cualquier otro, tenía unas propiedades muy similares al primero (en aquella época, los llamados gases nobles todavía no habían sido descubiertos).

Ley de las octavas de Newlands (masa atómica relativa)

1	2	3	4	5	6	7
Li (6.9)	Be (9.0)	B (10.8)	C (12.0)	N (14.0)	O (16.0)	F (19.0)
Na (23.0)	Mg (24.3)	Al (27.0)	Si (28.1)	P (31.0)	S (32.1)	Cl (35.5)
K 39.0	Ca 40.0					

El trabajo de Newlands mostraba una primera tabla donde los elementos quedaban ordenados en columnas (grupos) y en renglones (periodos). En las columnas quedaban agrupados elementos con propiedades muy parecidas entre sí y en los renglones se ubican 7 elementos cuyas propiedades iban variando progresivamente. Con el fin de relacionar estas propiedades con la escala de las notas musicales, Newlands le dio a su descubrimiento el nombre de ley de las octavas.

Actividad 4. Con la información anterior, completa la tabla de Newlands como consideres de acuerdo con los elementos que se conocían hasta la fecha. Justifica tu respuesta.

Actividad 5. Utiliza el diagrama de argumentación de Toulmin para argumentar la siguiente premisa:

“El modelo de las octavas de Newlands fue fundamental para el desarrollo de la tabla periódica”

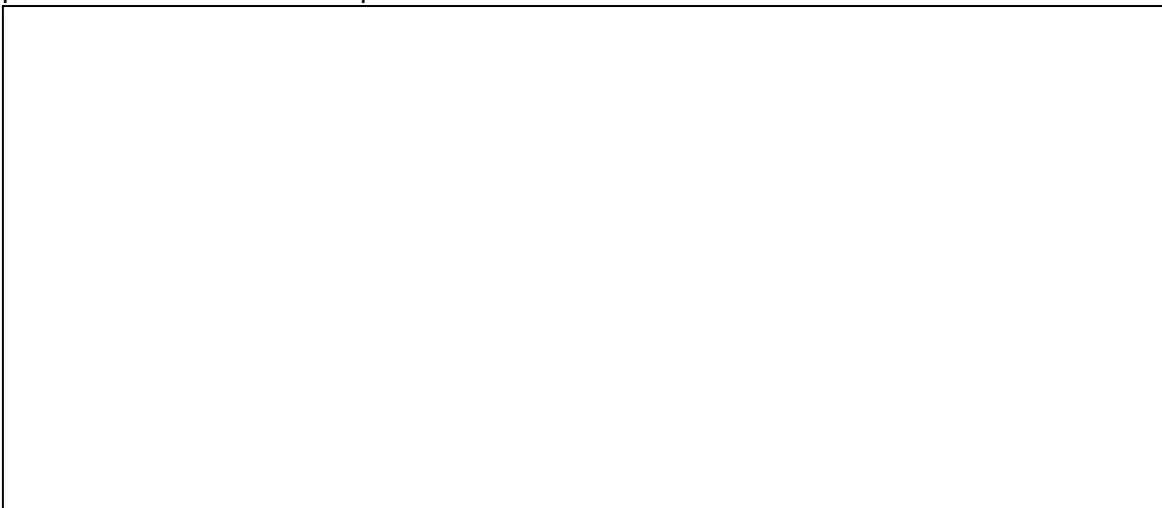
Con todas estas clasificaciones empezó a ser evidente que los elementos podían acomodarse, de manera sencilla, con base en su masa atómica relativa; y también se encontró que estos acomodos tenían mucho que ver con las propiedades de las sustancias. Es decir, empezó a ser claro que había algo (que muchos años después se relacionó con la estructura de los átomos de cada elemento) que determinaba, de alguna forma, las propiedades de la sustancia que en conjunto formaban esos átomos.

Lo anterior se muestra con la clasificación propuesta por William Odling, la cual estaba basada en algunas propiedades, denominadas naturales, de los elementos. Estas propiedades son volúmenes atómicos (el cual se determinaba dividiendo la masa atómica entre la densidad del elemento), **acidez o basicidad de sus óxidos**, etc. De esta forma, Odling obtuvo los siguientes **grupos naturales**:

Grupo	Elemento
1	Flúor (F), Cloro (Cl), Bromo (Br), Iodo (I)
2	Oxígeno (O), Azufre (S), Selenio (Se), Telurio (Te)
3	Nitrógeno (N), Fósforo (P), Arsénico (As), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi)
4	Boro (B), Silicio (Si), Titanio (Ti), Estaño (Sn)
5	Litio (Li), Sodio (Na), Potasio (K)
6	Calcio (Ca), Estroncio (Sr), Bario (Ba)
7	Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Cadmio (Cd)
8	Berilio (Be), Itrio (Y), Torio (Th)
9	Aluminio (Al), Circonio (Zr), Cerio (Ce), Uranio (U)
10	Cromo (Cr), Manganeso (Mn), Cobalto (Co), Hierro (Fe), Níquel (Ni), Cobre (Cu)
11	Molibdeno (Mo), Vanadio (V), Tungsteno (W), Tantalio (Ta)
12	Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Plata (Ag)
13	Paladio (Pd), Platino (Pt), Oro (Au)

Actividad 6. Según Odling un parámetro importante para clasificar a los elementos era su reactividad química. Escribe los óxidos que crees forman con, al menos uno, de los elementos de los grupos 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 10.

Ahora escribe cómo crees que reaccionarían estas especies cuando se pongan en presencia de agua. ¿Formarán ácidos o bases? O ¿no presentan ninguna reacción? Si éste es el caso, ¿crees que reaccionen con ácido clorhídrico e hidróxido de sodio? Justifica tu respuesta y si puedes escribe la reacción química.



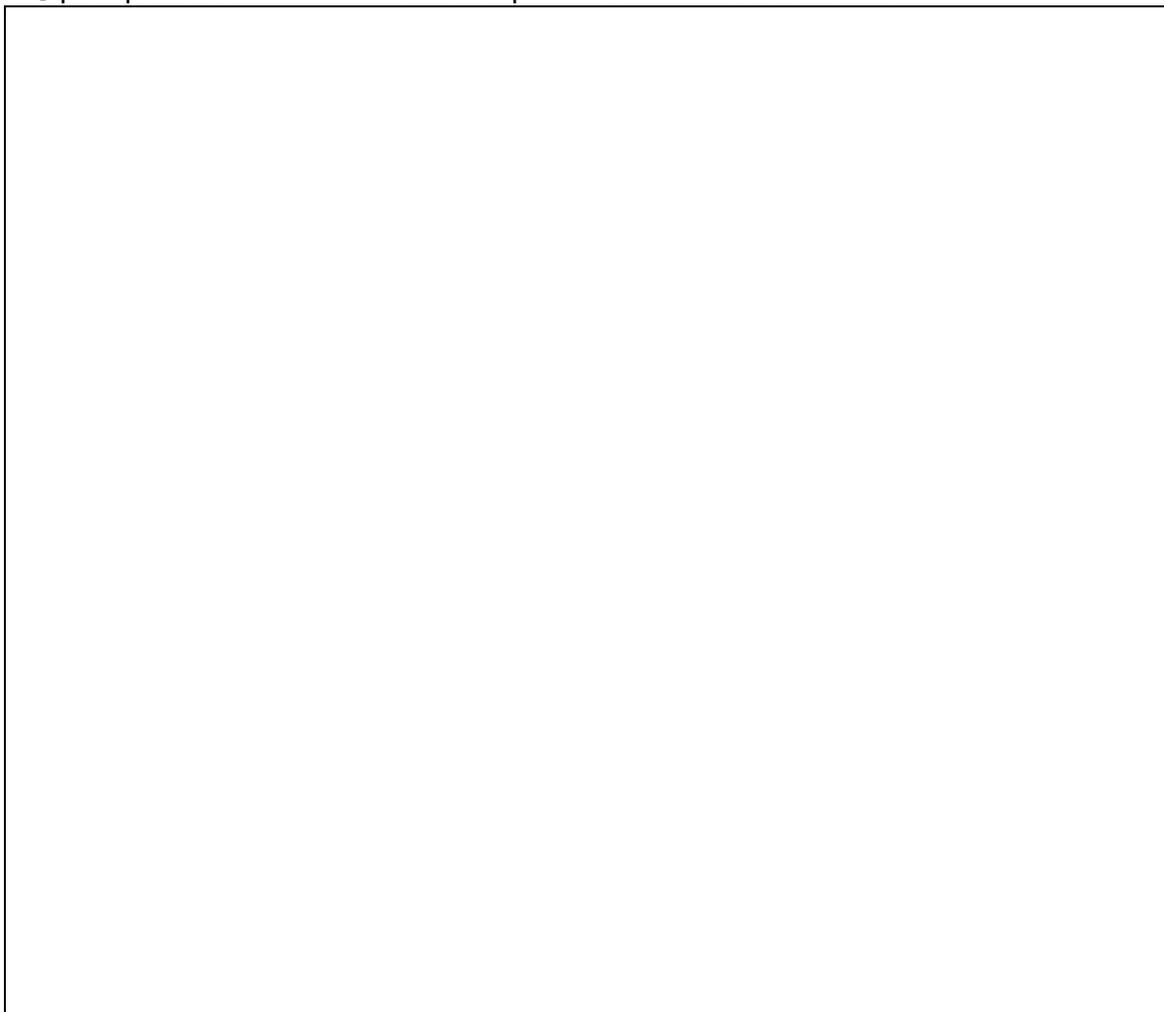
Actividad 7. Utiliza el diagrama de argumentación de Toulmin para manifestar la importancia del modelo de Odling en el desarrollo de la tabla periódica.

Berzelius planteó una hipótesis que ahora sabemos estaba equivocada: en dónde postuló que no podían existir moléculas formadas por átomos iguales. Sin embargo, gracias a la insistencia del químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826 – 1910), durante el primer congreso de Química celebrado en Karlsruhe, Alemania, en 1860, se llegó a un acuerdo sobre la existencia de moléculas formadas por átomos iguales, como el oxígeno (O₂) o el nitrógeno (N₂). Las contribuciones de Cannizzaro fueron tomadas en cuenta por químicos muy importantes, entre ellos el químico ruso Dimitri Mendeléiev (1834 – 1907) y el químico alemán Julios Lothar Meyer (1830 – 1895).

Actividad 8. Con la información anterior y con la información contenida en la tabla para recortar que se te proporcionó construye tu propia clasificación periódica.

Una vez hayas terminado contesta las siguientes preguntas:

1. Dibuja la clasificación que hiciste
2. ¿ En qué te basaste para desarrollar esa clasificación?
3. ¿qué tipo de consideraciones hiciste para clasificar a los elementos?



Tanto Lothar Meyer como Mendeléiev son famosos por haber propuesto un sistema de periodos para ordenar los elementos (algo que resulta curioso es que sus propuestas son muy parecidas y las hicieron casi en las mismas fechas, sin haber estado en contacto entre ellos). Utilizando las masas atómicas relativas, y unificándolas con base en el hidrógeno y también en las propiedades físicas (como el volumen atómico, el color y la gravedad específica) y químicas, Mendeléiev ordenó a los elementos en ocho grupos, según se observa en la siguiente tabla:

Tabla periódica de Mendeléiev. 1871

Periodo	Grupo I R ₂ O	Grupo II RO	Grupo III R ₂ O ₃	Grupo IV RH ₄ , RO ₂	Grupo V RH ₃ , R ₂ O ₅	Grupo VI RH ₂ , RO ₃	Grupo VII RH, R ₂ O ₇	Grupo VIII RO ₄
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9.4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27.3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35.5	
4	K = 39	Ca = 40	- = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59 Ni = 59, Cu = 63
5	(Cu = 63)	Zn = 65	- = 68	- = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	¿Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	- = 100	Ru = 104, Rh = 104 Pd = 106, Ag = 108
7	(Ag) = 108	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	¿Di = 138	¿Ce = 140	-	-	-	-----
9	(-)	-	-	-	-	-	--	--
10	-	-	¿Er = 178	¿La = 180	Ta = 182	W = 184	-	Os = 195, Ir = 197 Pt = 198, Au = 199
11	(Au) = 199	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	-	-	
12	-	-	-	Th = 231	-	U = 240	-	-----

Actividad 9. a) Compara la Tabla periódica de Mendeléiev con la propuesta realizada por tu equipo. En qué son diferentes, en qué son similares. Justifiquen ampliamente su respuesta.
b) Indica lo que se representa en la parte superior de cada columna y compáralo con tu propia interpretación.

Algo muy importante que hizo Mendeléiev, y de ahí lo valioso de su tabla, fue la predicción de la existencia de elementos no conocidos hasta entonces. Es decir, no sólo predijo el lugar que les correspondería en la tabla, sino que les dio valores para la gravedad específica, el volumen atómico y su masa atómica. Aunque no todas las predicciones de Mendeléiev fueron acertadas, hay tres que son de gran trascendencia y que se muestran a continuación.

	Predicho	Hallado experimentalmente
Masa atómica Gravedad específica Volumen atómico	Ekaluminio (1871) 68 6.0 11.5	Galio (1875) 69.9 5.96 11.7
Masa atómica Óxido Sulfato	Ekaboro (1871) 44 Eb ₂ O ₃ , gr, esp. 3.5 Eb ₂ (SO ₄) ₃	Escandio (1879) 43.79 Sc ₂ O ₃ ; gr.esp. 3.86 Sc ₂ (SO ₄) ₃
Masa atómica Gravedad específica Óxido Cloruro	Ekasilicón (1871) 72 5.5 EsO ₂ EsCl ₄ ; T. eb.< 100°C densidad 1.9	Germanio (1886) 72.3 5.47 GeO ₂ GeCl ₄ ; T. eb. 86°C densidad 1.89

Como veras, las predicciones realizadas por Mendeléiev fueron fundamentales para el avance científico porque se demostró que en Química también es posible hacer predicciones a partir de una base teórica, y esto abrió el camino para una nueva tabla periódica. Pero sobre este tema estudiaremos más adelante.

Actividad 10. Como se indicó anteriormente Lothar Meyer propuso un sistema periódico casi al mismo tiempo que Mendeléiev. A continuación, se muestra una tabla y la gráfica propuesta por este químico. Compara la información que se presenta con la tabla de Mendeléiev e indica las similitudes y diferencias entre ambas propuestas. Señala cuál de ellas te parece más completa

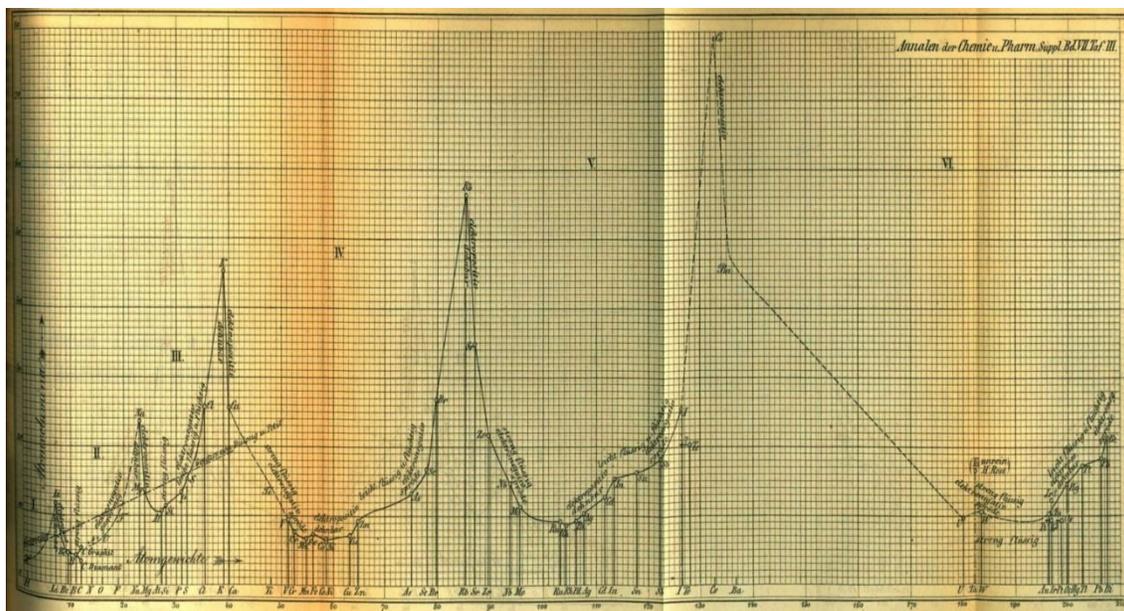


Tabla periódica de acuerdo a Lothar Meyer (1870)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	B=11	Al=27.3		---		¿In=113.4	Tl=202.7	
			---		---		---	
	C=11.97	Si=28		---		Sn=117.8		Pb=206.4
			Ti=48		Zr=89.7		---	
	N=14.01	P=30.9		As=74.9		Sb=122.1		Bi=207.5
			V=51.2		Nb=93.7		Ta=182.2	
	O=15.96	S=31.98		Se=78		Te=128?		---
			Cr=52.4		Mo=95.6		W=183.5	
--	F=19.1	Cl=35.38		Br=79.75		J=126.5		---
			Mn=54.8		Ru=103.5		Os=198.6?	
			Fe=55.9		Rh=104.1		Ir=196.7	
			Co=Ni=58.6		Pd=106.2		Pt=196.7	
Li=7.01	Na=22.99	K=39.04		Rb=85.2		Cs=132.7		
			Cu=63.3		Ag=107.66		Au=196.2	
¿Be=9.3	Mg=23.9	Ca=39.9		Sr=87		Ba=136.8		
			Zn=64.9		Cd=111.6		Hg=199.8	

Actividad 11. Con base en lo anterior, desarrolla una propuesta experimental (propón un diagrama de flujo detallado) que demuestre la clasificación hecha por Odling y que te permita llegar a la tabla periódica moderna.

Los elementos que puedes utilizar son los siguientes: carbono, azufre, fósforo, sodio, potasio, litio, calcio, magnesio, yodo; también puedes hacer uso de los siguientes compuestos: óxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de zinc, óxido de hierro, óxido de níquel, óxido de cobre. Te recomendamos usar disoluciones de hidróxido de sodio y ácido clorhídrico 6M.

Apéndice 2. Tabla de Mendeléiev para recortar

A R ₂ O 1	I RO 9.4	P R ₂ O ₃ 11	X RH ₄ RO ₂ 12	WR R ₂ O 85
B RO 24	J RO 40	Q RO 65	Y RO 87	WD R ₂ O 108
C R ₂ O 7	K R ₂ O 23	R R ₂ O 39	Z R ₂ O 63	WJ R ₂ O 133
D RO 112	L RO 137	S RH ₄ RO ₂ 28	AZ RH R ₂ O ₇ 19	GX RH ₂ RO ₃ 184
E R ₂ O ₃ 27.3	M R ₂ O ₃ 113	T RH ₄ RO ₂ 48	AW RH R ₂ O ₇ 35.5	FC RH ₂ RO ₃ 32
F RH ₄ RO ₂ 118	N RH ₄ RO ₂ 90	U RH ₃ R ₂ O ₅ 14	ER RH R ₂ O ₇ 55	HY RH ₂ RO ₃ 52
G RH ₃ R ₂ O ₅ 31	Ñ RH ₃ R ₂ O ₅ 51	V RH ₃ R ₂ O ₅ 75	GH RH R ₂ O ₇ 80	PÑ RH ₂ RO ₃ 78
HK RH ₃ R ₂ O ₅ 94	PO RH ₃ R ₂ O ₅ 122	W RH ₂ RO ₃ 16	JT RH ₂ RO ₃ 96	OL RH ₂ RO ₃ 128
KZ RH R ₂ O ₇ 127	TP R ₂ O ₃ 89			