

EN EL LUGAR DE MENDELEEV: EXPERIENCIA DIDÁCTICA DE ORDENACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS

In the place of Mendeleev: Didactic experience in ordering chemical elements

Andrés Raviolo [araviolo@unrn.edu.ar]

Patricia Carabelli [pcarabelli@unrn.edu.ar]

Andrea Farré [asfarre@unrn.edu.ar]

Universidad Nacional de Río Negro, Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales. Bariloche. Argentina.

Recibido em: 20/06/2022

Aceito em: 07/11/2022

Resumen

En este trabajo se presenta una experiencia didáctica llevada a cabo con alumnos de primer año de universidad, antes de la enseñanza sistemática de la unidad: "Relaciones periódicas entre los elementos". El objetivo fue evaluar la implementación de una actividad de ordenación de elementos químicos en una tabla, a partir de información sobre algunas propiedades de dichos elementos, de forma tal de emular, en un contexto simplificado y con fines educativos, a los precursores de la tabla periódica. La actividad consiste en ordenar 32 elementos, los elementos representativos de los periodos 2 al 5 (del Li al Xe) en una tabla de 4 filas y 8 columnas, de acuerdo a regularidades, a tendencias similares. En la actividad se brindan los datos de propiedades que se abordan en cursos de química general: masa atómica, radio atómico, punto de ebullición, primera energía de ionización, afinidad electrónica y número de oxidación. Estas propiedades fueron seleccionadas por ser las que mejor permiten observar patrones. Para evitar la influencia del conocimiento previo, se emplearon elementos con símbolos ficticios y valores de propiedades proporcionales a los reales, que se presentan en una tabla por orden creciente de la masa atómica y en 5 gráficos de estas propiedades versus masa atómica. Se observó que 9, de los 13 estudiantes que participaron en esta actividad preliminar y virtual, arribaron a partir de los datos disponibles a una tabla, a una ordenación periódica; aunque lo hicieron teniendo en cuenta, fundamentalmente, la repetición del número de oxidación. Se discuten los resultados y se emiten conclusiones y proyecciones.

Palabras clave: Química; Tabla periódica; Concepto de periodicidad; Aprendizaje; Enseñanza.

Abstract

This work presents a didactic experience carried out with first-year university students, before the systematic teaching of the unit: "Periodic relationships between the elements". The objective was to evaluate the implementation of an ordering activity for chemical elements in a table, based on information on some properties of these elements. In such a way as to emulate, in a simplified context and for educational purposes, the precursors of the periodic table. The activity consists of ordering 32 elements, the representative elements of periods 2 to 5 (from Li to Xe) in a table of 4 rows and 8 columns, according to similar regularities or trends. The activity provides data on properties that are addressed in general chemistry courses: atomic mass, atomic

radius, boiling point, first ionization energy, electronic affinity, and oxidation number. These properties were selected for being the ones that best allow us to observe patterns. To avoid the influence of prior knowledge, elements with fictitious symbols and property values proportional to the real ones were used. These data were presented in a table in increasing order of atomic mass and in 5 graphs of these properties versus atomic mass. It was observed that 9 of the 13 students who participated in this preliminary and virtual activity, arrived from the available data to a table, to a periodic ordering. Although the majority did so taking into account, fundamentally, the repetition of the oxidation number. Results are discussed and conclusions and projections are issued.

Keywords: Chemistry; Periodic table; Periodicity concept; Learning; Teaching.

1. Introducción

La tabla periódica de los elementos es, sin duda, uno de los contenidos centrales de los cursos de química por su ubicuidad y su relevancia. En cursos universitarios de química general se recurre a la tabla periódica permanentemente aunque su enseñanza sistemática se presenta a mitad del curso, luego de abordar la teoría cuántica y estructura electrónica de los átomos.

Para muchos autores, como por ejemplo Bierenstiel y Snow (2019), es fundamental lograr la comprensión del concepto de periodicidad como la predictibilidad de las propiedades de los elementos, sobre la base de las similitudes dentro de un grupo y las variaciones a lo largo de un periodo. Estos autores afirman que el enfoque de enseñanza de la tabla periódica, que ilustran los libros de texto de química, se basa predominantemente en perspectivas históricas tradicionales junto con la teoría atómica cuántica; y que este enfoque promueve que los estudiantes memoricen los elementos y su posición más que comprender cómo los elementos llegaron a ser puestos en esa posición.

Tal como sostiene Scerri (2008), el químico ruso Dimitri Mendeleev es “el descubridor líder del sistema periódico”, su concepción filosófica de elemento lo llevó a liderar este desarrollo de la ciencia química y a establecer la ley periódica. Esta invención surgió como una urgencia pedagógica: encontrar una forma sistemática para organizar el conocimiento químico y poder enseñarlo en sus cursos de la universidad. El mérito de Mendeleev es evidente, sin embargo, el sistema propuesto por él tiene su origen en el aporte de diferentes investigadores, incluso puede considerarse como una construcción múltiple y simultánea en el que participaron al menos seis autores (Chancourtois, Newlands, Odling, Hinrichs, Meyer y Mendeleev) en un período de siete años (SCERRI, 2017).

Spolti et al. (2020) presentan un breve estudio histórico sobre el desarrollo de la tabla periódica, con el fin de contextualizar y confrontar con la idea de que la misma deriva simplemente de los estudios de Mendeleev. Las narraciones de aula frecuentemente refuerzan la concepción de una ciencia lineal donde la intuición de un genio aislado conduce a un gran descubrimiento. Por el contrario, percibir este proceso

como una construcción histórica y colectiva, consolida una educación científica más crítica y reflexiva.

Varios químicos del siglo XIX, antes de conocer sobre la existencia de protones y electrones, intentaron clasificar a los elementos conocidos según las tendencias periódicas a partir de las masas atómicas y de sus propiedades físicas y químicas. Newlands, por el año 1864, halló que cuando los átomos se ordenan de acuerdo a su masa atómica, cada 8 elementos muestran propiedades semejantes, aunque se reconoce que esta ley es válida para elementos de baja masa atómica, para los elementos de los periodos 2 y 3. En 1869 Mendeleev, basándose en la repetición periódica y regular de las propiedades de los elementos, propuso una disposición de los 66 elementos que se conocían hasta ese momento en tablas, expresando la dependencia de dichas propiedades en función periódica de la masa atómica.

La ley periódica, o ley de periodicidad, afirma que ciertas propiedades químicas y físicas de los elementos tienden a repetirse de manera sistemática a medida que se incrementa el número atómico. En otras palabras, las propiedades de los elementos se encuentran en dependencia periódica del número atómico. La tabla periódica que habitualmente se utiliza (o la recomendada por la IUPAC) es un esquema de ordenamiento de esa ley periódica. Aunque, originalmente, Mendeleev sostuvo que “las propiedades de las sustancias simples, así como también de la composición y propiedades de los compuestos de los diferentes elementos químicos, se encuentran en dependencia periódica con la magnitud de sus masas atómicas” (Mendeleev citado por Bensaude-Vincent, 2001, p. 134).

Es significativo el hecho de que Mendeleev empleó una tabla, no un gráfico para presentar su ordenación: “Mendeleev utilizó su información para construir no un gráfico, como Meyer y Beguyer de Chancourtois habían hecho, sino una tabla como la de Newland” (ASIMOV, 1989, pp. 132). Se basó en las valencias, en el cambio progresivo de las valencias de los primeros elementos: 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1; la valencia subía y bajaba estableciendo periodos, dichos periodos no eran iguales. Basándose en ese principio de que las valencias son más importantes que la masa atómica, Mendeleev tuvo la lucidez de transgredir en algunos casos el orden creciente de la masa atómica, como en el caso del telurio y el yodo; y la sagacidad de predecir propiedades de elementos que no se conocían en ese momento, como el galio, escandio y germanio.

El concepto de elemento químico es clave en esta construcción. La IUPAC admite dos definiciones para elemento químico (MCNAUGHT y WILKINSON, 1997): 1. “Una especie de átomo; átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico”. 2. “Una sustancia química pura compuesta de átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico. A veces este concepto es llamado sustancia elemental como una forma de diferenciarlo del elemento químico definido en 1, aunque mayoritariamente el término elemento químico se usa para ambos conceptos”. Los libros de texto en general suelen utilizar estas dos acepciones del término elemento químico, que corresponden a dos conceptos diferentes, sin aclarar este doble significado (RAVILOLO, 2008).

En la enseñanza que recibieron las y los estudiantes que participaron en la propuesta que se desarrolla en este artículo, se aborda este problema conceptual-terminológico, consensuando emplear el término elemento para el tipo de átomo (submicroscópico) y el término sustancia elemental para referirse a la sustancia

(macroscópico). Sin embargo, en la propuesta didáctica se usa el término elemento con los dos significados, dado que las propiedades de los elementos que se emplean corresponden a propiedades que se abordan en cursos de química general actual y que se desarrollan en libros de texto de primer año de universidad: masa atómica, radio atómico, energía de ionización, afinidad electrónica, número de oxidación y punto de ebullición.

2. Enseñanza y aprendizaje del concepto de periodicidad

En cuanto al aprendizaje del concepto de periodicidad, algunas dificultades con que se enfrentan las y los estudiantes en los primeros cursos de química fueron enumeradas por Goh y Chia (1989):

- La periodicidad es un concepto abstracto. Las y los estudiantes necesitan ayudas concretas para ilustrar este concepto abstracto.
- Es esencial considerar las propiedades de un mínimo de 20 elementos para la comprensión real del concepto. El conocimiento de los y las estudiantes con respecto a los elementos considerados no es suficiente para identificar patrones.
- Complica más su aprendizaje el hecho de que en un mismo grupo se presentan propiedades similares de los elementos pero no idénticas. Hay una gradación progresiva.
- La definición química de periodicidad no es idéntica a la que se usa en otras áreas, tal como las notas en una octava musical o los meses y semanas del calendario, de modo que no es posible una transferencia literal del conocimiento previo.
- Los estudiantes no tienen suficiente experiencia para desarrollar reglas generales para determinar cómo, o en qué extensión, un patrón que se repite puede ser considerado como periodicidad.

Más recientemente, Franco-Mariscal, Oliva-Martínez y Almoraima-Gil (2015) establecieron áreas de análisis para categorizar las dificultades encontradas al evaluar el conocimiento acerca de elemento químico y tabla periódica que tienen grupos de estudiantes antes y después de transitar el bachillerato (16-18 años). Dos de estas áreas tienen relevancia para este trabajo:

- La complejidad de los conceptos y de las inferencias que han de desarrollar las y los estudiantes. El concepto de elemento químico es una noción central en la tabla periódica y es hoy todavía objeto de discusión, la dificultad radica en la ambigüedad de su definición. Según la IUPAC se puede definir el término elemento de una manera abstracta como un tipo de átomo (nivel submicroscópico) pero también como una sustancia real presente en la vida cotidiana (nivel macroscópico). Según los autores, esto llevaría a las y los estudiantes a usar los términos elemento, sustancia elemental y átomo como sinónimos.

- Las interpretaciones erróneas que construyen con relación a las propiedades periódicas y a la tabla periódica. En este sentido, los autores encontraron que, en muchos casos, existen patrones de razonamiento teleológicos que lleva a las y los estudiantes a reemplazar explicaciones causales por otras de carácter finalista, en las

cuales los sistemas evolucionan cumpliendo un objetivo o propósito determinado. Un ejemplo de esto es la regla del octeto que es utilizado como un modelo explicativo a la hora de considerar la estabilidad de los átomos. Por otra parte, se plantea que las y los estudiantes tienden a reducir la cantidad de indicadores y alternativas que deben tenerse en cuenta para comprender los conceptos relacionados con la tabla periódica; lo que se convierte en un inconveniente significativo debido a que el desarrollo del sistema periódico depende de más de un factor a la vez. Por ejemplo, las y los estudiantes explican que el átomo de bromo tiene un volumen atómico mayor que el átomo de flúor porque está más abajo en la tabla periódica (FRANCO- MARISCAL, et al., 2015).

En cuanto a las estrategias de enseñanza de la tabla periódica en la secundaria, Farré et al. (2019) revisaron un total de 37 artículos y concluyeron que existen estrategias de diversas índoles: las experiencias lúdicas, contextualización, indagación, modelización, aprendizaje basado en problemas, lectura y/o escritura y otras estrategias como analogías, mapas conceptuales y uso de recursos TIC. Mayoritariamente las estrategias se emplearon para que los y las estudiantes se familiaricen con la tabla periódica y no para que construyan la idea de periodicidad. Las experiencias lúdicas se utilizaron, en general, como actividades de síntesis o cierre y promueven la memorización de símbolos, nombres y, en algunos casos de propiedades. Por otra parte, las experiencias que aspiran a construir la idea de periodicidad estuvieron relacionadas con estrategias como el aprendizaje basado en problemas, la modelización, o el uso de recursos TIC. Además, se observa que aquellas experiencias en las que se prioriza la participación activa del estudiantado se favorece la motivación y, en consecuencia, se promueven aprendizajes más significativos, aun cuando se promueva la memorización.

La propuesta que se desarrolla en este artículo puede incluirse dentro de las estrategias de modelización. Tres propuestas (TALANQUER, 2005, DOMENECH-CASAL, 2019 y BIERENSTIEL y SNOW, 2019) plantean tareas similares en las que consideran elementos ficticios con el objetivo de recrear una tabla periódica.

Talanquer (2005) llevó adelante una actividad, con profesores de química en formación, donde las y los estudiantes analizaban datos de 12 sustancias elementales ficticias para arribar a una tabla periódica de un universo imaginario. Las propiedades que abarcó fueron estado de agregación, masa de un volumen de gas, conductividad de sólidos y reactividad química. Luego de analizar la tabla de datos, los estudiantes calculaban a las masas atómicas de los elementos gaseosos a través de la hipótesis de Avogadro, posteriormente comparando estos elementos arribaban a las demás masas atómicas a través de información sobre reactividad y asumiendo que los elementos de un mismo grupo reaccionan en forma similar. El objetivo perseguido es que derivaran un esquema de clasificación de los elementos similar a la tabla periódica identificando algunas tendencias periódicas en el comportamiento de estos elementos. Los dos arreglos predominantes obtenidos fueron tablas de 3 x 5 y 4 x 5 en orden creciente de la masa atómica, coincidiendo ambas en la identificación de los mismos 5 grupos.

Domenech-Casal (2019) implementó una experiencia con alumnos de tercer año de secundario con el objetivo de que el alumnado emule la construcción de la tabla periódica. Implementó una secuencia de larga duración, en donde las y los estudiantes tenían que ordenar, en distintas etapas, tarjetas con información sobre los elementos ficticios. Las tarjetas incluían información sobre número atómico, número másico,

configuración electrónica y radio atómico. En etapas finales de la secuencia debían predecir la existencia de otros elementos y sus propiedades.

Bierenstiel y Snow (2019) presentaron los resultados obtenidos en la propuesta “universo periódico” de enseñanza de la tabla periódica con la finalidad de mejorar la comprensión del concepto de periodicidad. En esta propuesta, aplicada en estudiantes de nivel medio y universitario, se les solicita que ordenen los elementos en una tabla a partir de analizar la información presentada en gráficos (energía de ionización versus número atómico). Estos gráficos se presentan en distintas etapas con un orden progresivo de complejidad, comenzando con 20 elementos ficticios (mundo 1) y finalizando con 56 elementos (mundo 6).

En el presente artículo se muestra una experiencia didáctica llevada a cabo con alumnos de primer año de universidad, antes de la enseñanza sistemática de la unidad: “Relaciones periódicas entre los elementos”. Esta experiencia es exploratoria y preliminar. Exploratoria porque no habíamos realizado propuestas similares a esta actividad, y preliminar porque se aplicó, a modo de estudio piloto, a un grupo reducido de estudiantes de manera virtual en el contexto de la pandemia.

3. Objetivo

Evaluar la implementación de una experiencia didáctica, llevada adelante en dos cursos de química general de primer año de universidad, de ordenación de los elementos en una tabla a partir de información sobre algunas propiedades de los elementos presentadas en una tabla de datos y en gráficos; de forma tal de emular, en un contexto simplificado y con fines educativos, a los precursores de la tabla periódica.

4. La actividad: La construcción de una tabla periódica

La actividad consiste en ordenar los elementos en una tabla de acuerdo a regularidades, a propiedades comunes o patrones, que se presentan en el conjunto de datos suministrados. A través de simular un proceso simplificado de ordenación de información seleccionada acorde, de forma de emular o ponerse en el lugar de científicos, como Mendeleev, que en esa etapa histórica contribuyeron al desarrollo de la ordenación periódica. Aunque, dado que en la propuesta se emplean propiedades que se abordan en cursos de química general universitarios, la misma no pretende reproducir, ni ser fiel, al proceso de construcción histórica de la tabla periódica.

Es una actividad análoga y simplificada. Es una analogía de un proceso de ordenación similar, en algunos aspectos, al llevado adelante por los pioneros que desarrollaron la tabla periódica; y es simplificada dado que se brindan tendencias reales de propiedades seleccionadas que mejor se ajustan a los propósitos y características de la experiencia didáctica.

El objetivo es que las y los estudiantes arriben a una tabla con 32 elementos, una tabla de 4 filas y 8 columnas, que incluye a los elementos representativos de los periodos 2 al 5 (del Li al Xe), a partir de datos de algunas propiedades (Tabla 1).

Tabla 1: Tabla con los elementos abarcados en la actividad.

	1	2	3	4	5	6	7	8
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe

En la actividad se brindan los datos de las siguientes propiedades: masa atómica, radio atómico, punto de ebullición, primera energía de ionización, afinidad electrónica y número de oxidación. Estas propiedades fueron seleccionadas por ser propiedades abordadas en cursos de química general y por ser las que mejor permiten observar patrones. Estos elementos se presentan en una tabla por orden creciente de la masa atómica. No se incorporaron los elementos del periodo seis (tabla de 5 x 8), porque los últimos tres (Po, At y Rn) son radiactivos y no figuran sus propiedades.

Para evitar el conocimiento que puedan tener los estudiantes sobre estos elementos, por ejemplo que conozcan los símbolos y/o valores de propiedades como la masa molar, e impedir la búsqueda de información, se presentó una tabla donde: (a) se reemplazan los símbolos por símbolos ficticios, que no coinciden con algún símbolo de un elemento real, para ello se adoptan dos letras la primera mayúscula y la segunda minúscula, y (b) los valores de las primeras 5 propiedades (sin el número de oxidación) se multiplicaron por una constante arbitraria (1,7), con lo cual se obtienen gráficos análogos a los obtenidos con propiedades reales, con las mismas tendencias. De esta forma se trata disminuir la interferencia del conocimiento previo. La propuesta se adecua para un trabajo no presencial, en el cual los estudiantes podrían recurrir a bibliografía para orientarse, aunque se insta a que se basen en la información otorgada.

La tabla que se espera que construyan se muestra a continuación (Tabla 2), aunque interesa especialmente los fundamentos y argumentos con los cuales arriban a ella.

Tabla 2: Tabla con los elementos ficticios abarcados en la actividad.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Lr	Bt	Um	Cy	Nk	Ke	Fp	Lw
2	Nq	Xp	Af	To	Py	Kh	Cv	Ao
3	Gj	Ft	Gq	Yu	Ut	Sz	Bp	Ov
4	Rl	Sx	Vj	Ef	Ok	Tg	Mx	Xb

Se les proporciona a las y los estudiantes una tabla de datos (Anexo) con 7 columnas (símbolo, masa atómica, radio atómico, punto de ebullición, energía de ionización, afinidad electrónica y número de oxidación). En esta tabla se aclara que estos elementos están ordenados en orden creciente de masa atómica. También se brindan cinco gráficos con las últimas 5 propiedades en función de la masa atómica creciente. Por ejemplo, en el siguiente gráfico (Figura 1), radio atómico versus masa atómica, se aprecia notoriamente una periodicidad en los valores más altos correspondiente a los elementos del grupo 1 y en los valores más bajos correspondiente a los del grupo 8.

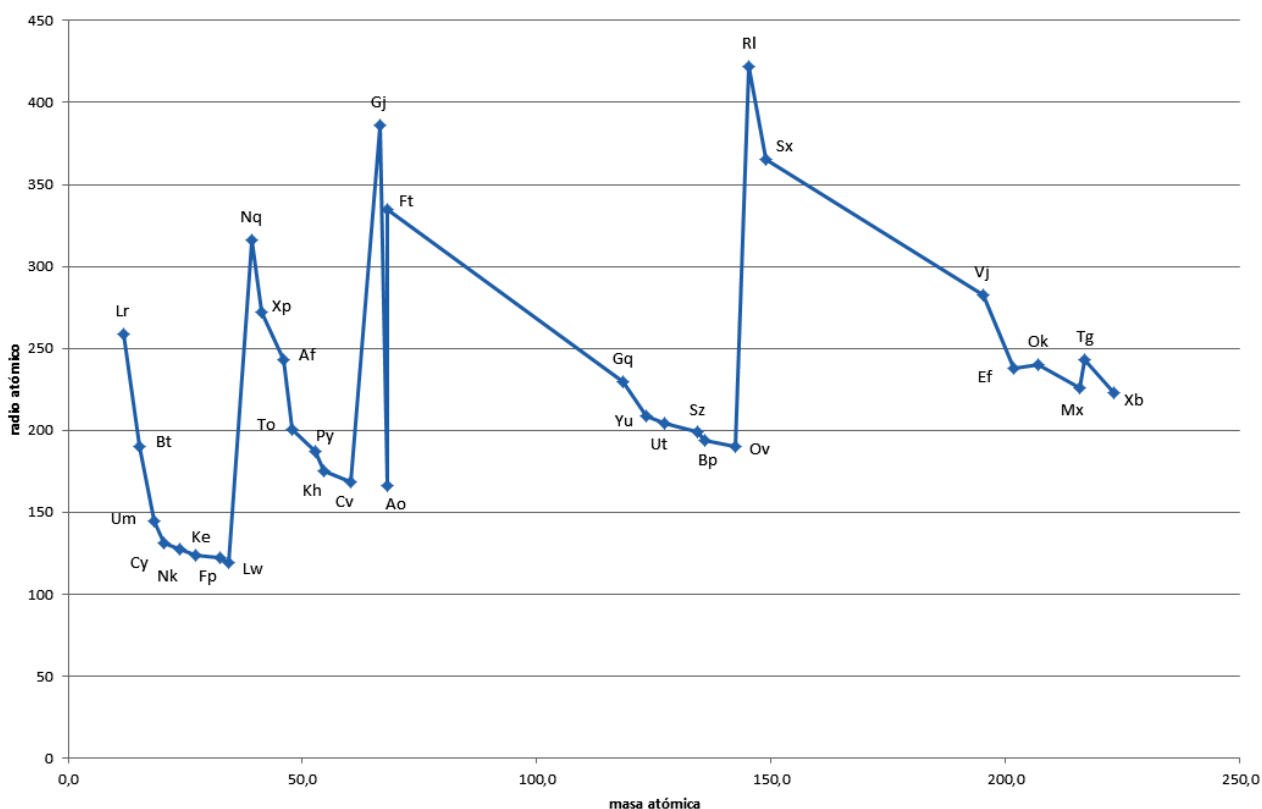


Figura 1: Ejemplo de gráfico entregado a las y los participantes.

Se considera solo un número de oxidación por cada elemento, siguiendo el orden más simple (1, 2, 3, 4, -3, -2, -1, 0) y se asume que los 4 gases nobles tienen número de oxidación 0 (esto se cumple en realidad para el Ne y Ar, no para el Kr y Xe).

Los estudiantes van a enfrentar ciertas anomalías y tendrán que tomar decisiones como invertir los dos pares de valores de masa atómica, los dos pares de elementos que no siguen el orden creciente del número atómico: Ao y Gj (Ar-K) y Mx y Tg (I-Te). Y también predecir, de una forma aproximada, las propiedades de los elementos representativos del periodo 6 correspondientes a esos grupos.

Como se mencionó, la propuesta didáctica consiste en un proceso simplificado y análogo. Es análogo dado que al igual que en el trabajo de Mendeleev:

- Se basa en algún conocimiento previo de organización de los elementos, en propuestas sugeridas por otros científicos. Las y los estudiantes tienen algunas nociones de la tabla periódica.
- Se tienen en cuenta propiedades físicas y químicas de los elementos.
- El formato final es una tabla, no un gráfico. Del análisis de los datos disponibles se construye una tabla que clasifica a los elementos.
- Se basa en el orden de masa atómica prioritariamente (no del número atómico), pero transgrede este orden en algunos casos para acomodarse a otras propiedades, como ocurre con dos pares de elementos: Ar-K y I-Te.
- Permite predecir propiedades de otros elementos. En la actividad se solicita, una vez que arribaron a una tabla, que predigan aproximadamente las propiedades que tendrían los 8 elementos siguientes en orden creciente de su masa atómica (que corresponden a los elementos representativos del periodo 6) de acuerdo a las tendencias periódicas.

Sin embargo, difiere en varios aspectos, entre ellos:

- Se considera solo 32 elementos representativos y gases nobles (grupos 1A a 8A) de los periodos 2 al 5. No se tiene en cuenta a los elementos de transición.
- Participan los gases nobles que no habían sido descubiertos en esa época. Por ejemplo el He fue identificado en 1868 por Lockyer, aunque inicialmente no se le prestó mucha atención a este descubrimiento (ASIMOV, 1989, pp. 142).
- No es necesario dejar casillas vacías (como el lugar dejado para el galio).
- Las propiedades de los elementos que se emplean corresponden a propiedades que se abordan en cursos de química general actual y que se desarrollan en libros de texto de primer año de universidad: radio atómico, energía de ionización y afinidad electrónica. Además de número de oxidación y punto de ebullición.
- Se utilizan números de oxidación, y uno por cada elemento, seleccionados por conveniencia.
- Las propiedades se presentan a las y los estudiantes ordenados en una tabla y en gráficos, es decir, con formas previas de organización.

En la experiencia de Domenech-Casal (2019) también se aclara que es una actividad resultado de transposición didáctica que incluye simplificaciones y analogías. Que la tabla periódica se construyó a base de las propiedades de las sustancias y no sobre la base de conceptos como configuración electrónica. En esta propuesta, que incluyó los elementos de los 5 primeros periodos, resultó muy problemática para las y los estudiantes la incorporación de los metales de transición.

En la propuesta de Bierenstiel y Snow (2019), con el mundo simulado 5 se arriba a una tabla similar a la nuestra, de 4 x 8 para 32 elementos ficticios, a partir de solo un gráfico de energía de ionización versus número atómico. En ella se utilizan valores ficticios no proporcionales a los reales, aunque análoga en las tendencias dado que se aprecia mayor valor en los elementos del grupo 2 con respecto a los del grupo 1, y mayor valor para los gases nobles en cada periodo.

5. Metodología

Participaron voluntariamente 13 estudiantes pertenecientes a la materia Química General, dictada por el mismo profesor para las carreras de: Profesorado en Química y Profesorado en Física (Universidad Nacional de Río Negro, Bariloche), 4 estudiantes, y Licenciatura en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional del Comahue, Bariloche), 9 estudiantes. La experiencia se llevó adelante el año 2020, de forma virtual en el contexto de la pandemia de Covid-19, antes de la enseñanza de la unidad propiedades periódicas de los elementos.

Además del conocimiento sobre la tabla periódica que pueden traer las y los estudiantes de la escuela secundaria, durante la cursada de química general se utiliza la tabla periódica desde el comienzo. Aunque su abordaje específico se realiza en la unidad sobre las relaciones o propiedades periódicas de los elementos, que constituye el capítulo 8 en el texto Química de Chang y Goldsby (2017) (que constituye el libro de texto de esta asignatura), en el capítulo 7 del libro de Brown y otros (2014) o en el capítulo 5 del texto de Whitten y otros (2015).

La experiencia didáctica se llevó adelante en 4 etapas:

Etapa 1: Entrega de la consigna que incluye una breve presentación de las propiedades incluidas (archivo de texto) y la tabla de datos con 5 gráficos (archivo hoja de cálculo). La consigna inicial fue: “A partir de la información brindada (tabla de datos y gráficos), ordenar los elementos en una tabla. Justificar en detalle los criterios empleados para realizar esa clasificación y las dificultades encontradas”. En esta etapa no se presta ayuda, a lo sumo se aclaran las consignas. La tarea es individual. A estos archivos (consigna y tabla/gráficos) se puede acceder respectivamente en:

<https://drive.google.com/file/d/13sDlitRqnhlAARLE61YpjJ6CKayaaHcG/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1DgmKltdA1kK1OV7PIxqM8Rp5MXuUjUAL/view?usp=sharing>

Etapa 2: Devolución de las respuestas recibidas. Si las tablas presentadas se ajustan a la tabla esperada, o por lo menos tienen su consistencia, se solicita mayor ampliación en las justificaciones, por ejemplo se les pide que: “Justifica empleando información de todos los gráficos”. Si las tablas presentadas no se ajustan a lo esperado se les brindan pistas para que las corrijan: “Mirá en cada gráfico qué elementos ocupan los picos” o se les orienta a que podrían transgredir el orden de la masa atómica en función de acomodar las tendencias que se aprecian en las propiedades.

Etapa 3: Predicción de propiedades. Una vez que arribaron a la tabla objetivo, se pide que predigan, en forma aproximada, las propiedades de los elementos del periodo 5 de esta tabla (que corresponden a los elementos representativos del periodo 6 de la tabla periódica real). Para ello pueden guiarse, por la tabla de datos y gráficos, y por la tabla confeccionada.

Etapa 4: Evaluación de la actividad por parte de las y los estudiantes. Se les pregunta: ¿Qué te pareció esta actividad? ¿Te hizo pensar? ¿Te pareció difícil? ¿Te hizo colocar en el lugar de los precursores de la tabla periódica? ¿Algún otro comentario?

Se espera que argumenten en términos de tendencias, con frases del tipo “los elementos del grupo 7 tienen elevadas afinidades electrónicas”. También que perciban que, si bien esos elementos tienen los valores más altos (o determinada tendencia) en ese periodo, en el grupo existe una progresiva gradación de esa propiedad (va decreciendo o va aumentando progresivamente en el grupo), lo que permitirá predecir las propiedades de los elementos del periodo siguiente (del periodo 6).

6. Resultados y discusión

6.1 Resultados de las Etapas 1 y 2: ordenación en tabla y justificación

De los 13 estudiantes, 9 lograron construir la tabla esperada (4 x 8). Una estudiante completó la tabla pero en lugar de invertir los elementos Tg y Mx, invirtió sus números de oxidación atribuyendo al Mx -2 y al Tg -1. Los otros tres presentaron tablas diferentes: tabla de 6 x 7, desordenada en lo que respecta a los grupos; tabla de 5 x 8 en la que invierte Tg y Mx correctamente y una tabla de 9 x 8. Esta última se basó en una reordenación de los datos en orden creciente del radio atómico.

La mayoría de las respuestas correctas se basaron en los números de oxidación que ordenaron en forma creciente de la masa atómica. A partir del número de oxidación, y de su conocimiento previo, identificaron los grupos mencionando, principalmente, al grupo de los gases nobles y al de los metales alcalinos.

A continuación se exponen algunas justificaciones que se centraron básicamente en los gases nobles, por su número de oxidación cero:

“Los cambios de periodo los marqué en los elementos de número de oxidación cero, con semejanza a los gases nobles. También hay una periodicidad en el estado de oxidación.” (A1).

“Acomodé los elementos de la siguiente forma siguiendo los criterios de que los gases nobles no tienen número de oxidación ya que no tienen tendencia a ganar electrones ya que tienen sus capas completas, tienen la mayor energía de ionización ya que tienen su configuración electrónica más estable y no tienen afinidad electrónica porque ya tienen su última capa completa, pero los elementos anteriores tienen una gran afinidad electrónica”. (A4)

“El primer criterio que utilicé para ordenar los elementos fue el de localizar los análogos a los gases nobles. Aquellos que tienen número de oxidación ‘0’, afinidad electrónica ‘0’ y la energía de ionización más alta de todos son los que designé a la derecha de la tabla y resalte con amarillo. Serían los elementos más estables, ya que se requiere mucha energía para sacarles un electrón, y no tienden a aceptar electrones para nada.” (A6). En la Figura 2 se muestra la tabla realizada por A6 donde resalta al grupo de los gases nobles.

Lr 11,7 1	Bt 15,3 2	Um 18,4 3	Cy 20,4 4	Nk 23,8 -3	Ke 27,2 -2	Fp 32,3 -1	Lw 34,3 0
Nq 39,1 1	Xp 41,3 2	Af 45,9 3	To 47,8 4	Py 52,7 -3	Kh 54,6 -2	Cv 60,4 -1	Ao 68,0 0
Gj 66,5 1	Ft 68,2 2	Gq 118,5 3	Yu 123,4 4	Ut 127,3 -3	Sz 134,3 -2	Bp 135,8 -1	Ov 142,5 0
Rl 145,4 1	Sx 148,9 2	Vj 195,2 3	Ef 201,8 4	Ok 207,1 -3	Tg 216,9 -2	Mx 215,7 -1	Xb 223,2 0

Figura 2: Tabla presentada por la estudiante A6.

En algunas argumentaciones se justificó la ordenación realizada aludiendo a otras propiedades más allá del número de oxidación y a su conocimiento previo de los grupos más conocidos de la tabla periódica:

“Los elementos fueron ordenados según su masa atómica de forma creciente, las columnas representan el número de oxidación de ese elemento. El número de oxidación varía de 1 a 4 y de -3 a 0 de izquierda a derecha. Los elementos de la columna verde son los más estables, tienen la menor afinidad electrónica, la mayor energía de ionización, su número de oxidación es cero. Cumplen el rol de gases nobles... El punto de ebullición aumenta de izquierda a derecha y baja abruptamente desde el cuarto elemento de una fila al quinto. Los elementos con número de oxidación -1 tiene la mayor afinidad electrónica y los elementos con números de oxidación 1 y 0 la menor.” (A11)

“Para ordenar estos elementos primero trate de identificar cuáles podrían ser los gases nobles, los metales alcalinos, los metales alcalinos térreos, los halógenos y los colágenos. Cada uno lo fui identificando por su número de oxidación, los gases nobles tienen número de oxidación 0, los alcalinos +1, los alcalinos térreos +2, los colágenos -2 y los halógenos -1. Hubo elementos que no supe como clasificarlos, por eso los puse en un grupo sin clasificación.” (A10)

“Para la ordenación de los elementos se analizaron los gráficos y se identificó a los elementos que entraban dentro de la categoría de los metales alcalinos y los gases nobles debido a que son los más discrepantes entre sí y por lo tanto los precursores básicamente de la organización de estos elementos. Una vez encontrado un alcalino, todos los elementos que seguían hasta el gas noble y cumplían las tendencias de las propiedades periódicas se volvían parte de un periodo. Los elementos alcalinos se pueden identificar por ser los de mayor radio atómico, menor energía de ionización, menor afinidad electrónica, dentro de un mismo periodo.” (A9)

En esta agrupación de los elementos en grupos, sobre la base del orden creciente de la masa atómica y semejanza de propiedades, se presentan las dos anomalías mencionadas que se subsanan no respetando el orden creciente de la masa atómica. Una de las conclusiones que se espera que arribe el estudiantado es que la periodicidad no se ve del todo representada por el orden creciente de la masa atómica. Respecto a la inversión en el orden de la masa atómica para los dos pares de elementos, justificaron:

“El elemento que no entraba fácilmente en la clasificación es el Ao, no corresponde en el orden de masas atómicas pero sí hay un salto de radio atómico y al ser estado de oxidación cero lo ubique en el último grupo.” (A1)

“Como criterio general, utilicé varios patrones que se repetían. En primer lugar, intenté acomodar los elementos según su masa atómica ascendente. Sin embargo, al separar los “gases nobles” resultó haber algunas excepciones, como el Gj y el Mx, pero correspondía si utilizaba los números de oxidación similares para cada columna”. (A6)

En la resolución de una estudiante (A13) se aprecia la fuerte influencia del conocimiento previo que la lleva a cambiar los números de oxidación informados de dos elementos con el fin de acomodar los elementos en su tabla. Para ello, como se aprecia en la Figura 3, en lugar de invertir los elementos Tg y Mx, invirtió sus números de oxidación atribuyendo al Mx -2 y al Tg -1.

ESQUEMA TABLA PERIÓDICA FICTICIA

Lr +1	Bt +2	Um +3	Cy +4	Nk -3	Ke -2	Fp -1	Lw 0
Nq +1	Xp +2	Af +3	To +4	Py -3	Kh -2	Cv -1	Ao 0
Gj +1	Ft +2	Gq +3	Yu +4	Ut -3	Sz -2	Bp -1	Ov 0
Rl +1	Sx +2	Vj +3	Ef +4	Ok -3	Mx -2	Tg -1	Xb 0

Figura 3: Tabla presentada por la estudiante A13.

Una estudiante (A9) siguió un razonamiento original que la llevo a presentar una tabla de 5 x 8 (Figura 4), de manera de seguir el orden creciente de la masa atómica y no invertir los elementos Gj y Ao.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8
Periodo 1	Lr	Bt	Um	Cy	Nk	Ke	Fp	Lw
Periodo 2	Nq	Xp	Af	To	Py	Kh	Cv	-
Periodo 3	Gj	-	-	-	-	-	-	Ao
Periodo 4	-	Ft	Gq	Yu	Ut	Sz	Bp	Ov
Periodo 5	Rl	Sx	Vj	Ef	Ok	Tg	Mx	Xb

Figura 4: Tabla presentada por la estudiante A9.

Esta estudiante justifica de la siguiente manera: “Los elementos G_j y el A_o, donde el G_j sería un metal alcalino y el A_o un gas noble, el tema está en que si bien estos van seguidos por orden de masa atómica, a este periodo le faltarían todos los elementos de grupos intermedios. Por lo que en este caso quedaría el resto del periodo 3 vacío (grupos del 2 al 7). En base al análisis de los gráficos se puede identificar la falta en el periodo 2 en el cual no hay un gas noble que lo termine de completar por lo que en ese espacio estaría vacío. En el periodo 4 también falta un elemento que cumpla con las características de los metales alcalinos por lo que este periodo está incompleto en el grupo 1. Los únicos periodos completos son el 1 y el 5”. Sin embargo, no aplica el mismo criterio para no invertir el otro par de elementos: “Los elementos M_x y T_g si bien por diferencia de masa atómica van uno atrás del otro para respetar la tendencia de las propiedades periódicas se los tiene que cambiar de lugar, siendo que el orden quedaría T_g y M_x.” Destacamos como un logro el hecho de que la estudiante priorice el criterio de ordenar en grupos de acuerdo a propiedades similares por más que implique dejar lugares vacíos. Si bien no menciona, como en el caso de Mendeleev, que estos espacios corresponderían a elementos por descubrir, abre la puerta para la discusión de este aspecto central e histórico de la temática.

La estudiante A5 presentó una tabla de 6 x 7 basándose en la apariencia formal de la tabla periódica donde en el primer periodo aparecen solo dos elementos H y He:

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A
Fr 122,4						Lw 119
Py 187	Kh 175,1	Cx 168,3	Um 144,5	Cy 130,9	Nk 127,5	Ke 124,1
Yu 209,1	Ut 204	Ta 200,6	Sz 198,8	Bp 193,8	Qv 190,4	Bt 190,4
Af 243,1	Tg 243,1	Ok 239,7	Ef 238	Ga 229,5	Mx 226,1	Xb 222,7
Gj 385,9	Sx 365,5	Ft 334,9	Na 316,2	Vi 282,2	Xp 272	Lr 258,4
Ri 421,6						

Figura 5: Tabla presentada por la estudiante A5.

En general verifican el concepto de periodicidad a partir de los datos teniendo en cuenta la repetición del número de oxidación. En los datos brindados el número de oxidación es la única propiedad que se repite con el mismo valor y emplea valores reales, no ficticios como en el caso de las otras propiedades. Con ello se arriba a una tabla de 4 periodos de 8 elementos. Algo similar ocurrió en la experiencia de Domenech-Casal (2019) donde, por un lado, el alumnado se basó en su ordenación principalmente en el número atómico y por otro lado, intentaron identificar o relacionar los elementos con los grupos de la tabla periódica conocida.

En la experiencia de Alves–Brito y Massoni (2019), en la que emplearon con docentes un juego de cartas emulando el proceso atribuido a Mendeleev, al no emplear elementos ficticios la mayoría de las y los participantes agrupó los elementos siguiendo la influencia de ideas e imágenes contemporáneas de la tabla periódica. En este caso, y dado que cada carta incluía todos los estados de oxidación de cada elemento, no se observó la tendencia de utilizar los números de oxidación como criterio predominante de ordenamiento. En general, los formatos finales obtenidos se asemejaron a la morfología contemporánea de la tabla periódica divulgada en los libros de texto.

Exceptuando el número de oxidación, las demás propiedades son similares pero no idénticas. Varios estudiantes superaron el desafío de identificar patrones con una visión en conjunto considerando, por ejemplo, secuencias ordenadas de 8 elementos que van desde un valle a un pico, como el caso de radio atómico vs masa atómica. Esta secuencia se ve alterada en dos casos, en el segundo periodo entre el octavo elemento (K) y el primero del tercer periodo (Ar). También en el cuarto periodo entre el sexto (I) y el séptimo (Te). Estas anomalías podrían subsanarse, en el gráfico masa atómica versus número de oxidación, si la curva siguiera un orden tal que mantuviera el valor del número de oxidación (eje Y) pero invirtiera, para esos casos, el orden en el eje X de masa atómica. La misma situación se da con las otras propiedades.

En el gráfico de energía de ionización se observan cuatro periodos claros de 8 elementos, con un orden creciente de energía de ionización y una caída marcada al comenzar otro nuevo periodo, aunque presenta anomalías en los dos pares de elementos mencionados. Si observamos las tendencias en el radio atómico, se aprecian 4 periodos claros descendentes de radio atómico que involucran cada uno a 8 elementos. También se extraen patrones del gráfico de puntos de ebullición donde los picos los ocupan los elementos del grupo 4, y del gráfico de afinidad electrónica donde los picos los ocupan los elementos del grupo 7.

Otro resultado interesante en las respuestas del alumnado es que no se hizo mención al salto grande en las masas atómicas después del calcio y del estroncio, debido a la no consideración de los elementos de transición de los periodos 4 y 5. Cabía la posibilidad que los consideran como “huecos vacíos”, lugares de elementos que faltan, dado que queda un espacio en la que podría entrar perfectamente otro periodo, un “hueco de un periodo faltante”.

Para Franco-Mariscal y otros (2012) la propuesta llevada a cabo por Talanquer (2005) con elementos ficticios de otro planeta podría inducir al alumnado a pensar que los elementos pueden ser diferentes fuera de la Tierra. En nuestra propuesta las y los estudiantes son conscientes que se trata de elementos ficticios y que están participando en una actividad educativa.

6.2 Resultados de la Etapa 3: predicciones

Una vez que arribaron a la tabla objetivo, se solicitó que predigan, en forma aproximada, los valores de las propiedades de los elementos del periodo 5 de esta tabla con valores ficticios, que corresponderían a los elementos representativos del periodo 6. Para ello, se les entregó la tabla de datos donde se incluyeron los símbolos y masas atómicas de esos 8 elementos.

Observando las tendencias para cada propiedad y grupo se pueden predecir, sin mucha dificultad, los valores aproximados de estas propiedades. Por ejemplo, si comparamos la variación de las propiedades para el grupo 1 de esta tabla periódica, se observan claras tendencias que permiten predecir un valor para el elemento Dc. En la Tabla 3 se muestran dichas tendencias, donde se resaltan en negrita los valores esperados del elemento Dc.

Tabla 3: Tabla con los valores de las propiedades del elemento Dc del período 5.

	Lr	Nq	Gj	Rl	Dc
radio atómico	258	316	386	422	451
punto ebullición	2281	1501	1290	1170	1141
energía de ionización	884	843	712	685	639
afinidad electrónica.	102	90	82	80	77
número de oxidación	1	1	1	1	1

En la Tabla 4 se presentan las predicciones realizadas por la estudiante A12 y, entre paréntesis, los valores esperados para esos elementos ficticios.

Tabla 4: Predicciones de las propiedades realizadas por A12.

símbolo	radio atómico	punto de ebullición	1° energía ionización	afinidad electrónica	número oxidación
Dc	450 (451)	1000 (1141)	660 (639)	75 (77)	1 (1)
Ab	440 (377)	1100 (3137)	880 (855)	15 (24)	2 (2)
Lt	290 (291)	3350 (2504)	965 (1001)	45 (51)	3 (3)
Bp	250 (298)	4100 (2973)	1100 (1217)	205 (187)	4 (4)
Zb	253 (264)	4400 (2659)	1200 (1195)	200 (187)	-3 (-3)
Za	248 (279)	2300 (1635)	1350 (1380)	310 (-----)	-2 (-2)
Xt	250 (241)	520 (-----)	1300 (1564)	450 (-----)	-1 (-1)
Uz	240 (238)	-100 (-105)	1700 (1763)	0 (-----)	0 (0)

Se advierte que no se cuenta con los valores de algunas propiedades para algunos elementos pesados, como Za, Xt y Uz (equivalentes al polonio, astato y radón).

6.3 Resultados de la Etapa 4: evaluación de la actividad

La actividad fue evaluada positivamente por todo el estudiantado. A continuación se transcriben algunas evaluaciones:

“La actividad de predicción de los elementos, me pareció interesante, primero no sabía cómo encararla, pero una pequeña orientación me sirvió para saber por dónde arrancar. Fue laboriosa, pero no difícil, Y sí, me hizo pensar (mucho). Me sirvió para entender un poco más la tabla, y los precursores, unos genios.” (A1)

“Me pareció interesante y poco convencional. Sí, está bueno estudiar la tabla de otra forma, es uno de mis temas preferidos. A veces es difícil encontrar el tiempo para concentrarse, pero no la actividad en sí misma. Realmente los admiro (a los científicos precursores), sobre todo al momento de predecir cosas impensables en su época.” (A2)

“La actividad me pareció muy buena porque en vez de arrancar a resolver de una, tuve que pensar por un par de días cómo iba a organizar los elementos y evaluar de qué forma variaban las tendencias de las propiedades. No fue tan difícil porque ya tenía a la tabla periódica real como base, por lo que más o menos tenía una referencia de cómo varían dichas propiedades, y además vimos teoría referida a ese tema. Me hizo colocar en el lugar de los precursores en cierto modo, pero con un poco de "trampa" y teniendo conocimientos que no todos ellos llegaron a tener. En general me pareció muy original, está bueno que haya actividades así porque te hacen pensar y no solo resolver cosas de forma automatizada.” (A6)

“¡Buenísima! La actividad me pareció muy interesante y un gran desafío en el que no me tenía fe, pero aplicando los conceptos que ya conocía salió.” (A11)

“Me gustó la actividad. Al principio me costó pero después logré entender la dinámica. Me hizo pensar mucho la relación entre las distintas propiedades y cómo se relacionan todos los elementos. Me pareció una buena actividad integradora.” (A12)

7. Conclusiones

Las tareas que con mayor frecuencia tienen que resolver las y los estudiantes en cursos introductorios universitarios consisten en resolución de ejercicios en los que se arriba a una única solución y generalmente por un único camino. En cambio, la actividad de ordenación de elementos presentada no es de resolución directa y rápida, implica un proceso laborioso y creativo, dado que demanda el análisis de información presentada con distintos formatos, la interpretación de gráficos, el análisis de tendencias, la toma de decisiones, habilidades de argumentación y comunicación. Así también, habilidades de aplicación de aprendizajes para predecir propiedades de nuevos elementos. Estas dificultades, y el desafío que conllevan, fueron percibidas por las y los estudiantes.

Uno de los principales aportes de este trabajo es la presentación conjunta de los 5 gráficos como recurso de enseñanza y aprendizaje. Estos gráficos constituyen un producto de interés en sí mismo, por su claridad y las posibilidades de trabajo que favorecen, dado que permiten construir y/o verificar la noción de periodicidad. Por ejemplo, su uso comparado, con valores reales, podría ser empleado como una actividad de enseñanza expositiva.

Se observó que las y los estudiantes arribaron a partir de los datos disponibles, a una tabla, a una ordenación periódica, teniendo en cuenta, fundamentalmente, la repetición del número de oxidación. Esto se debió a que el número de oxidación es una propiedad conocida por el estudiantado, que se repite con el mismo valor cada 8 elementos y emplea valores reales, no ficticios como las otras propiedades. Con este apoyo la mayoría construyó una tabla de 4 periodos de 8 elementos.

La propuesta no está orientada a reproducir el proceso de construcción histórica de la tabla periódica, dado que constituye una experiencia pedagógica, con características análogas y simplificadas que se evidenciaron en el artículo. Entre sus limitaciones se observa la consideración de elementos representativos solamente y el empleo de algunas propiedades que fueron seleccionadas por ser abordadas

sistemáticamente en cursos de química general universitarios, lo que restringe una discusión más profunda de la “ley periódica”.

Como proyección de esta experiencia, se pretende continuar con la misma ampliando la muestra de estudiantes e introduciendo el cambio de suministrar información sobre un conjunto de propiedades que no incluya en número de oxidación. Pensamos que esta alternativa va a demandar mayor esfuerzo y más frutos en la construcción de la noción de periodicidad.

8. Referencias

Alves-Brito, A. & Massoni, N. (2019). Uma estratégia de jogo na educação básica: o uso da história dos elementos químicos e da tabela periódica de Mendeleev para discutir conceitos contemporâneos. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(1), 177-196.

Asimov, I. (1989). *Breve historia de la Química*. Alianza Editorial. Barcelona.

Bensaude-Vincent, B. (2001). Graphic representations of the periodic system of chemical elements. En: U. Klein (ed.), *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht: Holanda, pp. 133-161.

Bierensteil, M. & Snow, K. (2019) Periodic universe: a teaching a model for understanding the periodic table of the elements. *Journal of Chemical Education*, 96, 1367-1376.

Domènech-Casal, J. (2019). Retorno a Karlsruhe: una experiencia de investigación con la Tabla Periódica para aprender la estructura y propiedades de los elementos químicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16, 1201.

Farré, A. S.; Carabelli, P. & Raviolo, A. (2019). Estrategia didácticas iberoamericanas para la enseñanza de la tabla periódica. *Educación en la Química*, 25(2), 111-129.

Franco-Mariscal, A.; Oliva-Martínez, J. & Almoraima-Gil, M. (2015). Students' perceptions about the use of educational games as a tool for teaching the periodic table of elements at the high school level. *Journal of Chemical Education*, 92(2), 278-285.

Goh, N. & Chia, L. (1989). Using learning cycle to introduce periodicity. *Journal of Chemical Education*, 66(9), 747-749.

Mcnaught, A. & Wilkinson, A. (1997). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology*. 2nd edition. Blackwell Science. Cambridge: UK. <http://www.iupac.org/publications/compendium/index.html>

Raviolo, A. (2008). Definiciones básicas de la química: una discusión didáctica II. Elemento, sustancia elemental y compuesto. *Educación en la Química*, 14(2), 77-89.

Scerri, E. (2008). El pasado y el futuro de la tabla periódica: Este fiel símbolo del campo de la química siempre encara el escrutinio y el debate. *Educación Química*, 19(3), 234-241.

Scerri, E. (2017). El descubrimiento de la tabla periódica como un caso de descubrimiento simultáneo. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 82-97.

Spolti, C., Damasio, F. & Raicik, A. (2020). O ano internacional da tabela periódica e um sucinto resgate de sua história: implicações para a educação científica por meio da divulgação científica. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(3), 188-203.

Talanquer, V. (2005). Recreating a periodic table: a tool for developing pedagogical content knowledge. *The Chemical Educator*, 10, 95-99.

9. Anexo: Tabla de datos entregada al alumnado.

símbolo	masa atómica	radio atómico	punto ebullición	1ra energía ionización	afinidad electrónica	n° de oxidación
	g/mol	pm	°C	kJ/mol	kJ/mol	
Lr	11,7	258,4	2281	884	102	1
Bt	15,3	190,4	4197	1530	0	2
Um	18,4	144,5	6676	1361,7	46	3
Cy	20,4	130,9	8206	1847,9	207	4
Nk	23,8	127,5	-115	2383,4	0	-3
Ke	27,2	124,1	-108	2233,8	240	-2
Fp	32,3	122,4	-111	2856	558	-1
Lw	34,3	119	-145	3536	0	0
Nq	39,1	316,2	1501	843,2	90	1
Xp	41,3	272	1853	1254,6	0	2
Af	45,9	243,1	4282	982,6	75	3
To	47,8	200,6	5551	1337,9	228	4
Py	52,7	187	471	1720,4	122	-3
Kh	54,6	175,1	757	1700	340	-2
Cv	60,4	168,3	-20	2126,7	593	-1
Gj	66,5	385,9	1290	712,3	82	1
Ao	68,0	166,6	-109	2585,7	0	0
Ft	68,2	334,9	2523	1003	3	2
Gq	118,5	229,5	3747	984,3	49	3
Yu	123,4	209,1	4794	1295,4	201	4
Ut	127,3	204	1389	1609,9	131	-3
Sz	134,3	198,9	1165	1599,7	332	-2
Bp	135,8	193,8	100	1938	553	-1
Ov	142,5	190,4	-90	2296,7	0	0
Rl	145,4	421,6	1170	685,1	80	1
Sx	148,9	365,5	2349	935	9	2
Vj	195,2	282,2	3522	948,6	49	3
Ef	201,8	238	4423	1205,3	206	4
Ok	207,1	239,7	2698	1417,8	172	-3
Mx	215,7	226,1	313	1713,6	502	-1
Tg	216,9	243,1	1680	1477,3	323	-2
Xb	223,2	222,7	-64	1989	0	0