

# Tabla periódica de los elementos asociada a geología

## Periodic table of elements associated with geology

Denis Gustavo Bernabé Álvarez Contreras<sup>1</sup>, Axel Leonel Córdoba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología y Petróleo. Neuquén, Argentina.

[denisalvarez98@hotmail.com](mailto:denisalvarez98@hotmail.com), [axel.cordoba@est.uncoma.edu.ar](mailto:axel.cordoba@est.uncoma.edu.ar)

Recibido: 24/03/2020 | Corregido: 26/11/2020 | Aceptado: 03/02/2021

Cita sugerida: D. G. B. Álvarez Contreras and A. L. Córdoba, "Tabla periódica de los elementos asociada a geología," *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. 29, pp. 79-85, 2021, doi: 10.24215/18509959.29.e9

Esta obra se distribuye bajo **Licencia Creative Commons CC-BY-NC 4.0**

### Resumen

La tabla periódica de los elementos es una de las herramientas de mayor importancia en las ciencias. Tomando como base algunas de sus versiones más modernas se ha desarrollado una tabla periódica asociada a las ciencias geológicas, la cual respeta el ordenamiento de la tabla original creada por el ruso Dmitri Mendeléyev en 1869 y posee una serie de características distintivas con un formato sencillo, facilitando su entendimiento y utilización. Tomando en cuenta su enfoque geológico, posee novedades como imágenes de los minerales donde el elemento se encuentra en forma natural, símbolos indicativos de elementos artificiales y sintéticos, como también de los elementos principales en la corteza, manto y núcleo. Por otra parte, resaltan la clasificación geoquímica de Goldschmidt y las formas de los elementos con base en su respectivo sistema cristalino, dando una perspectiva muy visual. Así también fueron incluidas distintas herramientas de mucha utilidad en el área como la conocida serie de Bowen, categorizaciones de elementos compatibles e incompatibles, casos típicos del diagrama de Piper y diagrama de Stiff. Para aumentar la interacción y comprensión entre el usuario y la tabla, esta cuenta con elementos externos a la misma (cartas) que incorporan realidad aumentada, lo que permite aprender de manera más sencilla, didáctica y entretenida sobre la estructura atómica de los elementos químicos en 3D. Solo basta con escanear el dorso de la carta con el celular para observar su estructura.

**Palabras clave:** Tabla periódica; Geología, Elementos químicos; Sistema cristalino; Clasificación de Goldschmidt.

### Abstract

The periodic table of the elements is one of the most important tools in science. Based on some of its more modern versions, a periodic table associated with the geological sciences has been developed, which respects the order of the original table created by the Russian Dmitri Mendeléyev in 1869 and has a series of distinctive characteristics with a simple format, facilitating its understanding and use. Based on its geological approach, it has new developments such as images of minerals where the element is naturally found, symbols indicative of artificial and synthetic elements, as well as the main elements in the cortex, mantle and core. In addition, they highlight the Goldschmidt geochemical classification and the shapes of the elements based on the respective crystalline system, giving a very visual perspective. So were also included different useful tools in the area such as the well-known Bowen series, categorizations of compatible and incompatible elements, typical cases of the Piper and Stiff diagrams. To increase the interaction and understanding between the user and the table, it has external elements (cards) that incorporate augmented reality, making it easier, didactic and entertaining to learn about the atomic structure of the chemical elements in 3D. Simply scan the back of the cards with your cell phone to look at its structure.

**Keywords:** Periodic table; Geology; Chemical elements; Crystalline system; Goldschmidt classification.

## 1. Introducción

La búsqueda de recursos didácticos que sean de valor para la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias, es una labor constante cuyos resultados se han puesto al servicio de la comunidad educativa [4].

Un claro ejemplo de esto es el Proyecto Newton [12], el mismo es un proyecto educativo perteneciente al INTEF (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado) especializado en recursos educativos para la materia de Física y Química, destinado a la creación de materiales de aprendizaje interactivos de carácter innovador para introducirlos a los niveles de secundaria y bachillerato.

La tabla periódica clásica diseñada por Mendeléyev [8] es un ejemplo de imbricación de distintas ciencias y tecnologías, con aportaciones multidisciplinares en lo que actualmente podríamos calificar como STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics). Se trata de una obra colectiva, realizada con el esfuerzo de multitud de personas de distintos países y generaciones. La misma ha sido modificada por diversos autores que buscan adaptarla según el caso de estudio, siendo un ejemplo asociado al área de ciencias geológicas la Tabla Periódica de los Elementos y sus Iones para Ciencias de la Tierra desarrollada por Railsback [2 y 13].

La tabla periódica de los elementos asociada a geología expuesta en este trabajo y sus agregados, forman parte de las adaptaciones antes mencionadas, siendo un material de enseñanza que se diferencia y beneficia por su carácter interactivo, claro y sencillo. La historia de la construcción de la misma es un ejemplo de cómo se desarrolla la ciencia. El resultado es apasionante; es difícil imaginar en cualquier área del saber otro esquema tan fundamentado y con tanta información útil recogida en una tabla que entra en una hoja, lo que la transforma en un importante recurso educativo.

## 2. Principios de ordenamiento y clasificación de la tabla

Los elementos están organizados según su número atómico y configuración electrónica, en filas horizontales, llamadas períodos, y en columnas verticales llamadas grupos o familias como se muestra en el Anexo 2. La Tabla Periódica moderna está formada por los 118 elementos que se conocen (más bien se admiten) actualmente y está constituida por siete períodos (filas) y 18 grupos (columnas), además simplemente por razones prácticas se representa una pequeña tira con dos filas de 10 elementos, estos son las llamadas tierras raras, formada por los grupos de elementos lantánidos y actínidos. Además, cada elemento cuenta con novedosas e interesantes caracterizaciones (Figura 1) que serán tratadas en los siguientes ítems.

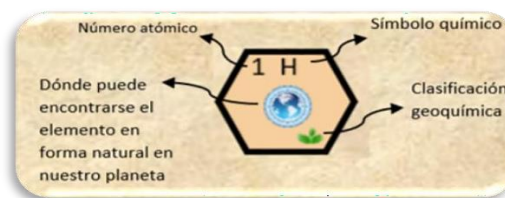


Figura 1. Representación de los símbolos y forma de un elemento referencia en la tabla.

## 3. Clasificación geoquímica de Goldschmidt

Con base en su afinidad geoquímica los elementos fueron clasificados por Goldschmidt en litófilos, calcófilos, siderófilos, atmófilos y biófilos, siendo su carácter geoquímico dependiente de su configuración electrónica [4 y 5]. Por otra parte, es importante considerar que algunos elementos presentan una afinidad geoquímica variable según el ambiente, siendo los principales factores la presión, temperatura y fugacidad del oxígeno (ambiente oxidante o reductor).

Los elementos litófilos se vinculan con el oxígeno mediante enlace iónico y suelen estar presentes en las redes cristalinas de los silicatos.

Los elementos calcófilos se vinculan con el azufre por enlace covalente, formando sulfuros que suelen ser la mena de estos elementos metálicos.

Los elementos siderófilos son metales afines al hierro, formando asociaciones mediante enlace metálico, encontrándose comúnmente como elementos nativos.

Los elementos atmófilos son gases que se presentan principalmente en la atmósfera, encontrándose entre ellos los gases nobles.

Los elementos biófilos son los principales constituyentes de los seres vivos, siendo afines a formar estructuras orgánicas.

## 4. Distribución de elementos en la Tierra

La tierra está constituida por esferas interactuantes denominadas atmósfera, litosfera, biosfera y tierra sólida [16]. Esta última a su vez se puede dividir con base en su composición química, en tres capas principales que constituyen la estructura interna de la Tierra.

### 4.1. Corteza

La corteza terrestre es la capa más superficial de la tierra sólida y constituye aproximadamente el 0.5% de la masa total de la Tierra, la misma se divide en corteza continental y oceánica.

La corteza continental presenta un espesor promedio de 40km y está constituida principalmente por rocas ígneas

félsicas, siendo el cuarzo, plagioclasa (sódica), feldespatos potásicos, biotita y moscovita los minerales mayores en estas rocas [10].

Los elementos principales en base al porcentaje de óxidos son 57% SiO<sub>2</sub>, 16% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 9% FeO, 7.4% CaO, 5% MgO, 3.1% Na<sub>2</sub>O, 1% K<sub>2</sub>O.

La corteza oceánica posee un espesor promedio de 8km y está conformada por rocas ígneas maficas, siendo el clinopiroxeno, plagioclasa (cálcica), anfíbol y ortopiroxeno los minerales más comunes en estas rocas [10].

Los elementos principales en base al porcentaje de óxidos son 50.5% SiO<sub>2</sub>, 15% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 11.3% CaO, 10.5% FeO, 7.6% MgO, 2.7% Na<sub>2</sub>O, 1.6% TiO<sub>2</sub>, 0.1% K<sub>2</sub>O.

### 4.2. Manto

El manto constituye el 66% de la masa de la Tierra y la convección del mismo es el origen de la actividad tectónica en el planeta. Está constituido por rocas ultramáficas siendo los minerales mayoritarios el olivino y ortopiroxeno [10].

Los elementos principales en base al porcentaje de óxidos son 46% SiO<sub>2</sub>, 38% MgO, 7.5% FeO, 4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3.2% CaO, 0.3% Na<sub>2</sub>O, 0.2% TiO<sub>2</sub>.

Este se encuentra enriquecido en MgO y empobrecido en elementos radioactivos (U, Th, REE, entre otros), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O en relación a la corteza, lo cual es explicado en base a la serie de Bowen (Fig. 5).

### 4.3. Núcleo

El núcleo constituye el 32.5% de la masa de la Tierra, presenta una parte externa líquida responsable del geomagnetismo terrestre y una interna sólida conformada por una aleación de Fe-Ni, aunque también abundan los metales siderófilos.

## 5. Hidrogeoquímica

### 5.1. Diagrama de Stiff

Es un gráfico simple que permite caracterizar las aguas en base a los iones más importantes, conformado por tres ejes horizontales estando a la derecha de cada uno los cationes (Na/K, Ca y Mg) y a la izquierda los aniones (Cl, HCO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>) (Figura 2).

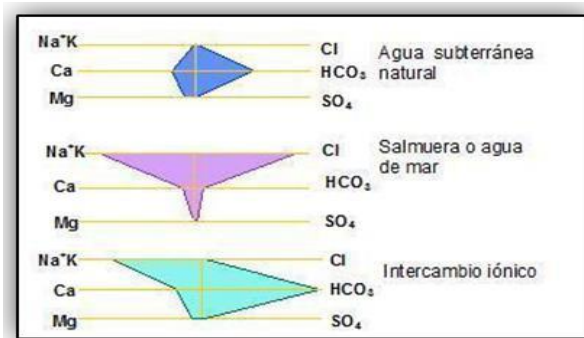


Figura 2. Diagrama de Stiff [9]

Aunque el Na/K siempre se confronta con el Cl, el Ca con el HCO<sub>3</sub> y el Mg con el SO<sub>4</sub>, no existe una disposición estipulada en cuanto al arreglo vertical.

Por otra parte, las concentraciones están en meq/l y permite una fácil observación del tipo de agua, mientras que al representarse en un mapa da lugar a un rápido análisis de la variación espacial de la química de las aguas.

### 5.2. Diagrama de Piper

Está formado por dos triángulos equiláteros donde son introducido los datos en porcentajes, estando en los vértices del izquierdo los cationes (Na/K, Ca y Mg) y en los vértices del derecho los aniones (Cl, HCO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>) (Figura 3).

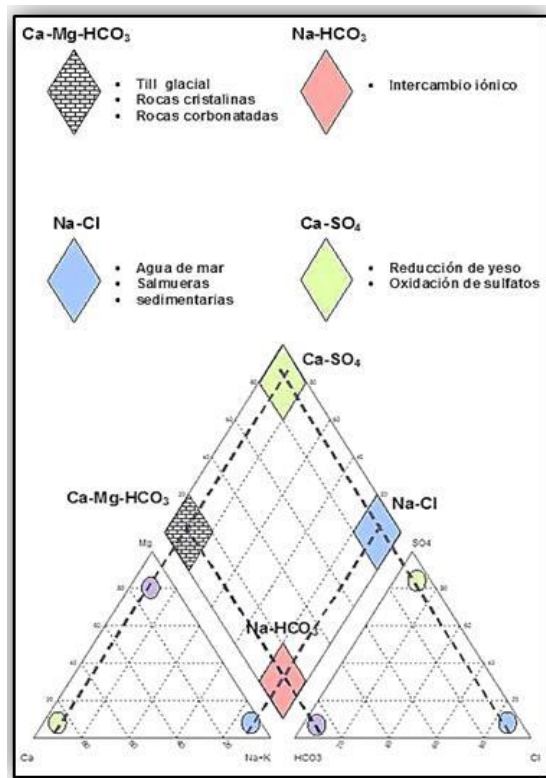


Figura 3. Diagrama de Piper. [9]

La información de los gráficos triangulares, se proyecta en un rombo central que permite representar la composición química del agua y además detectar mezclas de aguas,

procesos de intercambio catiónico y procesos de disolución o precipitación de especies iónicas.

### 6. Elementos sintéticos y radiactivos

En química, un elemento sintético es un elemento químico que no aparece de forma natural en la Tierra, y sólo puede ser creado artificialmente. Hasta el momento, se han creado 23 elementos sintéticos.

Existen elementos radiactivos como el radio, polonio, uranio, etc. Estos tienen la propiedad de emitir espontáneamente partículas (alfa y beta) y/o rayos gamma por desintegración del núcleo atómico [17].

### 7. Sistema cristalino

Una de las novedades de esta tabla periódica es que cada elemento cuenta con la forma de su respectiva estructura cristalina. La estructura cristalina es la forma sólida de cómo se ordenan y empaquetan los átomos, moléculas, o iones. Estos son empaquetados de manera ordenada y con patrones de repetición que se extienden en las tres dimensiones del espacio. La estructura cristalina de un material (la disposición de los átomos dentro de un tipo dado de cristal) se puede describir en términos de su celda unitaria.

La celda unitaria es una pequeña caja que contiene uno o más átomos dispuestos en 3 dimensiones. Las celdas unitarias apiladas en un espacio constituyen una red. En función de los parámetros de red, es decir, de las longitudes de los lados o ejes del paralelepípedo elemental y de los ángulos que forman, se distinguen siete sistemas cristalinos y sus respectivas redes de Bravías (Figura 4).

Ejes y ángulos	Sistema cristalino	Red espacial	Ejemplo
$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Triclinico	Simple	Ácido bórico Dicromato de potasio
$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Monoclinico	Simple De base centrada	Azufre $\beta$ Sacarosa
$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorrombico	Simple De base centrada De caras centradas Centrada	Azufre $\alpha$ Gallo
$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal	Simple Centrada	Estaño (blanco) Indio, martensita
$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cúbico	Simple De caras centradas Centrada	Carbono (diamante) Oro, aluminio, plomo, plata Hierro $\alpha$
$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Hexagonal	Simple	Magnesio, berilio, cinc, Cadmio, grafito
$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Romboédrico	Simple	Antimonio, mercurio, Arsénico, bismuto

Figura 4. Sistemas cristalinos. [7]

### 8. Serie de reacción de Bowen

Las series de Bowen son principalmente un medio de categorizar los minerales de silicato ígneo más comunes mediante la temperatura a la cual cristalizan [16].

La representación gráfica de esta serie permite visualizar el orden en el cual los minerales se cristalizará (Figura 5), siendo los minerales superiores los primeros en cristalizar en un magma que se encuentra en enfriamiento, y los inferiores los últimos en formarse.

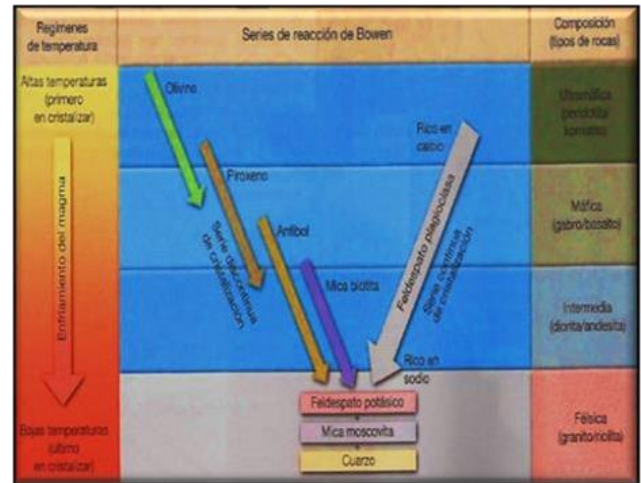


Figura 5. Serie de Bowen. [16]

Bowen concluyó que el proceso de cristalización se basa en cinco principios:

1. Mientras que la masa fundida se enfría, los minerales que cristalizan se mantendrán en equilibrio termodinámico con esta.
2. Con el pasar del tiempo y el incremento de cristalización de minerales, la masa fundida irá cambiando su composición.
3. Los primeros cristales formados dejan de estar en equilibrio con la masa con nueva composición, y se disuelven nuevamente para formar nuevos minerales. Es por esto que existe una serie de reacciones, la cual se desarrolla con el pasar del enfriamiento.
4. Los minerales más comunes de rocas ígneas pueden ser categorizados en dos series: una serie continua de reacción de los feldespatos, y una serie discontinua para los minerales ferromagnesianos (olivino, piroxeno, hornblenda y la biotita).
5. Esta serie de reacciones supone que, de un único magma, todos los tipos de rocas ígneas pueden originarse por efecto de la diferenciación magmática.

Las series de Bowen en sí se representan con un diagrama en forma de «Y», con líneas horizontales interceptando varios puntos de la Y para indicar rangos de temperatura



(Figura 5). La primera línea, visualizando de arriba hacia abajo, representa una temperatura de 1800 °C, y se manifiesta en forma de rocas ultramáficas. Esta es la primera sección, ya que no pueden formarse minerales en temperaturas mayores a esta. La segunda sección comienza a los 1100 °C, y entre esta temperatura y la de los 1800 °C es en donde se forman algunos minerales típicos de rocas máficas. La tercera sección comienza a los 900 °C y termina a 600 °C; esta última representa el punto en donde los brazos del diagrama se unen y descendiendo una sola línea. Entre los 600 °C y 900 °C se forman rocas intermedias; inferior a esto se cristalizan las rocas félsicas.

### 8.1. Serie discontinua

El brazo izquierdo del diagrama pertenece a la serie discontinua. Este camino representa formaciones minerales que son ricas en hierro y magnesio. El primer mineral que se forma en este caso es el olivino, el cual es el único mineral estable alrededor de los 1800 °C. A esta temperatura (y a partir de este momento) se evidenciarán minerales formados por hierro, magnesio, silicio y oxígeno. Con el decremento de temperatura, el piroxeno se volverá estable y comenzará a aparecer el calcio en los minerales formados cuando se alcancen los 1100 °C. Cuando se alcanza un enfriamiento hasta 900 °C, aparecen los anfíboles. Finalmente, la serie culmina cuando la temperatura disminuye hasta los 600 °C, donde comienzan a formarse las biotitas en forma estable.

### 8.2. Serie continua

Esta serie se hace llamar «continua» porque se forma el mineral feldespato en una serie continua y gradual que comienza con una alta proporción de calcio ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), pero que se va caracterizando por una mayor formación de feldspatos basados en el sodio ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). Esta rama culmina a 600 °C donde la formación de feldspatos es casi de un 100%  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ . Para las fases residuales —las cuales son las últimas en formarse y se presentan como la línea recta que descende de las series anteriores— el mineral conocido como K-spar (feldespato potásico) aparecerá a temperaturas inferiores a los 600 °C, y la moscovita se generará a temperaturas menores. El último mineral en formarse es el cuarzo, y solo en sistemas donde exista un exceso de silicio en el remanente. Este mineral se forma a temperaturas relativamente frías de magma (200 °C), cuando ya casi se ha solidificado.

## 9. Elementos compatibles e incompatibles

Los elementos compatibles son aquellos que durante la fusión parcial se concentran preferentemente en el sólido

(minerales), mientras que los incompatibles se concentran en el líquido (fundido residual) [6]. El coeficiente de partición de los minerales es el que determina su carácter compatible o incompatible, dependiendo del mismo de factores del medio como la composición del magma (% sílice), presión y temperatura, como también de factores del elemento como el radio iónico y valencia.

Entre los elementos incompatibles se encuentran los elementos del grupo de las tierras raras debido a su elevada valencia (HREE) o a su elevado radio iónico (LREE) y los elementos litófilos de radio iónico grande (LILE) [14 y 15], como los elementos alcalinos y alcalinotérreos, que se suelen acoplar a minerales tardíos por su bajo potencial iónico (carga/radio) (Figura 6).

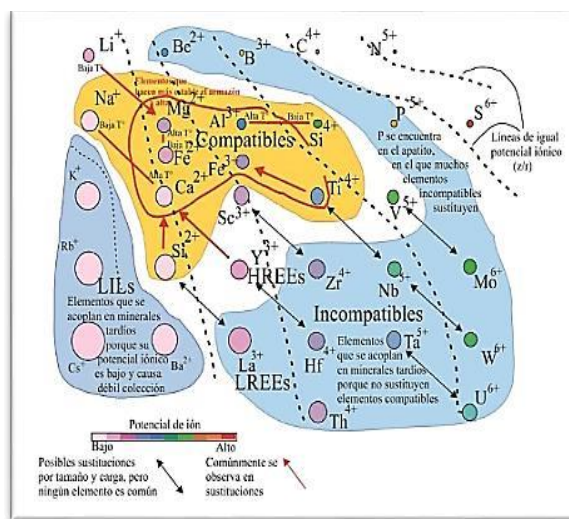


Figura 6. Elementos compatibles e incompatibles y su asociación con el potencial iónico. [11]

## 10. Realidad aumentada

Basándonos en la premisa que a una mayor interactividad del programa mayor la participación activa y el aprendizaje autónomo de los estudiantes [3], para incrementar la interacción y comprensión entre el usuario y la tabla se decidió incorporar herramientas de realidad aumentada (RA). La RA constituye una de las tecnologías emergentes más valiosas para dar respuesta eficaz desde una perspectiva innovadora, a los nuevos estilos de aprendizaje del alumnado de la actual era digital en las distintas etapas de educación [1]. Se utiliza con elementos externos a la misma (cartas) que en un sector tienen una representación igual que en la tabla pero de un tamaño mayor (forma, clasificación, etc.) y en el dorso de la carta se encuentra una imagen en blanco y negro que actúa como “marcador” (Anexo 1). Solo basta con escanear el dorso (el marcador) de la carta con el celular utilizando la aplicación RappChemistry para observar su estructura.

La aplicación permite una vista amigable, intuitiva, de fácil manejo tanto para docentes, estudiantes y cualquier usuario resaltando las características básicas de la tabla periódica.

Esto permite aprender de manera más sencilla, didáctica y entretenida sobre estructura atómica de los elementos químicos en 3D (Figura 7).



Figura 7. Visualización de cartas de realidad aumentada

Inclusive desarrollamos la aplicación TPI: TABLA PERIÓDICA INTERACTIVA, la cual es una aplicación gratuita que incorpora diversas herramientas para ayudar a comprender y descubrir la tabla periódica (videos explicativos, información de detalle y novedades.)

## Conclusión

La tabla periódica de los elementos asociada a las ciencias geológicas posee un diseño simple y visual que le da el potencial para convertirse en una herramienta muy efectiva para la enseñanza de los aspectos químicos vinculados con las ciencias de la tierra.

Además, el propio desarrollo de la tabla en conjunto a los elementos externos de realidad aumentada es un claro ejemplo de la relación entre las nuevas tecnologías y la educación, teniendo como principal objeto una mejor calidad de enseñanza.

Con la implementación de estas herramientas en la institución educativa se espera una mejoría en el desempeño e interés de la tabla en distintas asignaturas, específicamente en la comprensión de los conceptos relacionados. De igual manera, el uso de la aplicación en el aula, desde el ámbito de material de apoyo, puede contribuir a que el desarrollo de la eficiencia del proceso enseñanza-aprendizaje sea mayor. Proyectando que a un futuro inmediato el uso de estas herramientas podrán permitir a los actores fundamentales del proceso enseñanza-aprendizaje tener una experiencia de

acercamiento y experimentación con el conocimiento de la tabla periódica.

## Referencias

- [1] X. Basogain, M. Olabe, K. Espinosa, C. Rouèche and J. C. Olabe, "Realidad Aumentada en la Educación: Una tecnología emergente. Comunicación," presentada a Online Educa Madrid en 7ma Conferencia Internacional de la Educación y la Formación basada en las Tecnologías, Madrid, 2007.
- [2] J. P. Bernal and L. B. Railsback, "Introducción a la Tabla Periódica de los Elementos y sus Iones para Ciencias de la Tierra," *Revista mexicana de ciencias geológicas*, vol. 25, no. 2, pp. 236-246, 2008.
- [3] E. P. Daza Pérez, A. Gras-Marti, A. Gras-Velázquez, N. Guerrero Guevara, A. Gurrola Togasi, A. Joyce, E. Mora-Torres, Y. Pedraza, E. Ripoll and J. Santos, "Experiencias de enseñanza de la química con el apoyo de las TIC," *Educación química*, vol. 20, no. 3, pp. 320-329, 2009.
- [4] V. M. Goldschmidt, "The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. The seventh Hugo Müller Lecture, delivered before the Chemical Society on March 17th, 1937," *J. Chem. Soc.*, pp. 655-673.
- [5] V. M. Goldschmidt, A. Muir, *Geochemistry*: Oxford, Clarendon Press, International Series of Monographs on Physics, 1954.
- [6] G. A. Jenner, "Trace element geochemistry of igneous rocks: geochemical nomenclature and analytical geochemistry," in *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications For Massive Sulphide Exploration*. D. A. Wyman, Ed., Geological Association of Canada, Short Course Notes, vol. 12, 1996, pp. 51-77.
- [7] C. Klein, C. S. JR. Hurlbut, *Manual de mineralogía: basado en la obra de J.D. Dana*. 4ªed. vol. 2. Reverté, 1997, pp.360-679.
- [8] D. Mendeléyev, "Ueber die beziehungen der eigenschaften zu den atomgewichten der elemente," *Zeitschrift für Chemie*, vol. 12, pp. 405-406, 1869.
- [9] Y. G. Mendoza Hurtado, *Los diagramas de análisis hidroquímicos*, 2015. [Online]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/288640524/Los-Diagramas-Analisis-Hidroquimicos>. [Acceso Agosto 30, 2020]
- [10] J. B. Murphy, "Igneous Rock Associations, 8. Arc Magmatism, II: Geochemical and Isotopic Characteristics," *Geoscience Canada*, vol. 34, no.1, pp. 1-29, 2007.
- [11] A. D. Pajuelo, "Magmatismo, petrografía y estratigrafía de los depósitos volcánicos cenozoicos

(Grupo Calipuy), en el segmento Cordillera Negra, sector sur – Ancash," Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2015.

[12] Proyecto Newton, Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado, 2009. [Online] Disponible en: <http://recursostic.educacion.es/newton/> [Acceso Agosto 30, 2020].

[13] L. B. Railsback, "An Earth scientist's periodic table of the elements and their ions," *Geology*, vol. 31, no.9, pp. 737–740, 2003.

[14] H. Rollinson, *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific and Technical. Essex, 1993.

[15] A. D. Saunders, J. Tarney, N. G. Marsh and D. A. Wood, "Ophiolites as ocean crust or marginal basin crust: a geochemical approach," in, *Ophiolites: proceedings of the International Ophiolite Symposium Cyprus 1979*, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Geological Survey Department, Cyprus, 1980, pp. 193-204.

[16] E. J. Tarbuck and F. K. Lutgens, *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005.

[17] K. W. Whitten and K. D. Gailey, *Química General*. 5a. Edición, Ed. McGraw-Hill, México, 1998.

*Información de Contacto de los Autores:*

**Denis Gustavo Bernabé Álvarez Contreras**

Universidad Nacional del Comahue  
Departamento de Geología y Petróleo  
Neuquén  
Argentina

[denislvarez98@hotmail.com](mailto:denislvarez98@hotmail.com)

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0035-8929>

**Axel Leonel Córdoba**

Universidad Nacional del Comahue  
Departamento de Geología y Petróleo  
Neuquén  
Argentina

[axel.cordoba@est.uncoma.edu.ar](mailto:axel.cordoba@est.uncoma.edu.ar)

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5367-9326>