



Cajas de huevos y esferas como herramienta didáctica en explicación del principio de Aufbau

Egg boxes and spheres as a didactic tool in explanation of the Aufbau principle

Alejandro Soto-Ospina¹ y Lina Marcela Castro²

Recepción: 18/01/22

Aceptación: 01/07/22

Resumen

Los diagramas de configuración electrónica son esquemas que permiten explicar algunas propiedades de los elementos en la tabla periódica, teniendo en cuenta el movimiento y llenado de electrones en los orbitales según las reglas de Hund, para entender conceptos a nivel electrónico como electronegatividad, efecto de apantallamiento de los electrones, energía de ionización, carga nuclear efectiva, entre otros. Como principal objetivo se tiene que, a partir del aprendizaje activo y significativo, los estudiantes puedan hacer accesible un sistema tan abstracto y complejo desde el trabajo en el aula en su saber hacer, para ello se utilizan cajas de huevo como material reciclable que representarán los orbitales y bolas de ping-pong para representar los electrones como modelo corpuscular; este modelo se aplica en las aulas de clase para explicar datos numéricos de la energía de ionización como propiedad periódica que se desea entender. Los modelos fueron bien asimilados para la muestra de estudiantes evaluados y permitió generar discusiones dentro del aula de clase, espacios argumentativos y descripción de modelos o predicción de modelos bajo una conceptualización didáctica grupal.

Palabras clave

Ionización, energía, Diagrama de Möeller, configuración electrónica, periodicidad.

Abstract

The electronic configuration diagrams are schemes that allow explaining some properties of the elements in the periodic table, considering the movement and filling of electrons in the orbitals according to the rules of Hund, to understand concepts at the electronic level such as electronegativity, shielding effect of electrons, ionization energy, and effective nuclear charge, among others. The main objective is that, from the active and meaningful learning, the students can make accessible such an abstract and complex system from the work in the classroom in their know-how, for this they use egg boxes as recyclable material that will represent the orbitals and ping-pong balls to represent electrons as a corpuscular model. This model is applied in classrooms to explain numerical data of the ionization energy as periodic property that one wishes to understand. The models were well assimilated for the sample of students evaluated and allowed to generate discussions within the classroom, argumentative spaces and description of models or prediction of models under a group didactic conceptualization.

Keywords

Ionization, energy, Möeller diagram, electronic configuration, periodicity.

¹ Grupo de Investigación Alimentaria (GRIAL), Corporación Universitaria Unilasallista, Colombia.

² Universidad de Antioquia, Colombia.

Introducción

En la clasificación de la enseñanza química desde la visión molar, molecular y eléctrica, en las aulas de clases, la visión electrónica es de las más abstractas y difíciles de comprender para la mayoría de estudiantes, por lo que se hace necesario utilizar herramientas que permitan transmitir de manera sencilla estos conceptos, dado que muchas propiedades atómicas inherentes a la clasificación periódica dependen del tipo de átomo en estudio (1-6). Todas las formas de ver la ciencia necesitan constructos, esquemas o representaciones pictóricas que permitan entender cómo suceden los fenómenos naturales o procesos artificiales y estos desencadenan en modelos. El modelo químico se describe como una definición única, se construye a partir de un conjunto de parámetros y variables que comprenden y argumentan el sistema de estudio, con el fin de poder predecir propiedades físicas y químicas, siendo así la base esencial en el paradigma y funcionalidad de las matrices o sistemas de análisis (7,8).

En la antigüedad encontrar relaciones periódicas de los elementos descubiertos en la época de Dimitri Mendeleev y Lothar Meyer, fue un trabajo arduo que obtuvo como producto la tabla periódica de los elementos, en los que hubo intentos de propuestas con el tornillo telúrico de Alexandre-Emile Chancortois, las triadas periódicas de Johann Döbreiner o incluso las octavas de John Newland inspiradas en las notas musicales, las cuales solo explicaban periodicidad para algunos elementos y cuando se alcanzaba el bloque de metales de transición, no cumplía; por lo que fue hasta la época de Mosseley que se introduce el número atómico a partir de las difracciones de rayos X de los elementos y propone estos como parámetro de organización antes de su muerte (9-12). Meyer fue el primero en encontrar periodicidad a partir de volúmenes atómicos y encontró una gráfica que mostraba los primeros acercamientos a la periodicidad y un año después la propuesta de Mendeleev, ayudó a complementar el borrador de tabla periódica (13,14).

La configuración electrónica nos permite ilustrar el arreglo de los electrones dentro de un átomo aislado y cómo estos se van distribuyendo acorde al principio de Hund y principio de Aufbau o regla de Madelung para el llenado de los orbitales atómicos según el número cuántico principal n y el azimutal l (15-17). El diagrama de Möeller permite ilustrar la distribución de los electrones para átomos aislados, según su número atómico y las valencias que tienen (18,19). Asimismo, también existen muchas excepciones debidas al incumplimiento de la regla de Madelung, debido a que el orbital 3d es de menor energía que el orbital 4s en los metales de transición en ejemplos como Cobre (Cu), Niquel (Ni), Cromo (Cr), metales nobles como Plata (Ag), Oro (Au) y en los lantánidos los orbitales 4f y 5d son más altos en energía que el orbital 6s, como por ejemplo el Lantano (La), estas violaciones a la regla fueron confirmadas a través de la técnica experimental de espectroscopia atómica, determinando su configuración electrónica característica (20,21).

En la literatura a nivel mundial, se han creado algunos modelos buscando un fácil entendimiento del principio de Aufbau, pero son modelos que se restringen solo a pintar el llenado de los electrones y no muestran los protones que son importantes si se considera la representación completa de un átomo aislado, es decir, tener en cuenta el número de protones (positivos), electrones (negativos) y neutrones pero ese diseño es de alto costo y no sería de fácil elaboración didáctica en las aulas de clase (22).

Otra propuesta como antecedente, consiste en un modelo construido por platos de cocina para representar los subniveles energéticos y esferas para los electrones, pero estos se encuentran en andamios metálicos que harían costoso el modelo, además, su enfoque es mostrar las diferencias energéticas de los subniveles en el diagrama de Möeller (23).

Este artículo tiene como propósito, proponer un modelo de bajo costo para explicar en aulas de clase conceptos de configuración electrónica. De igual forma, correlacionar de manera cualitativa y descriptiva el llenado de orbitales por parte de los electrones y su posible efecto de repulsión electrónica con un fenómeno como la energía de ionización y la facilidad para desprender o no un electrón en un átomo, buscando con el modelo didáctico realizar la conceptualización a los estudiantes de Medicina veterinaria de primer semestre de la Corporación Universitaria Unilasallista, acerca de la periodicidad atómica y sus características (24).

BASE CONCEPTUAL El aprendizaje activo que consiste en promover las formas didácticas en la interacción entre estudiantes y que permite el trabajo en equipo, se convierte en una herramienta vital para estudiar la configuración electrónica en su conceptualización a nivel atómico (25,26). Esta actividad cuenta con retroalimentación a partir de las experiencias con los compañeros y por parte del profesor, con el fin de mejorar y trabajar las ideas vagamente adquiridas o erróneamente generadas, a partir de estrategias de aprendizaje autodidacta enfocadas en el cuestionamiento y abordaje crítico(27).

La propuesta pedagógica favorece la asociación conceptual a partir de un modelo sencillo y práctico, lo que se convierte en significativo para los estudiantes, dado que los modelos sirven para identificar conceptos como pérdida y ganancia de electrones, lo que reforzaría el aprendizaje basado en el "relacionar", es decir, encontrar redes de conexión entre los conocimientos, basados en modelos accesibles que vinculan una sinergia entre el conocimiento nuevo y el conocimiento que se tenía, esto permite conseguir una reestructuración progresiva de ambos conceptos, generando una claridad e idealización de la información en el proceso de una manera no-arbitraria y sustancial (28-31). Por otro lado, el modelo de los elementos utilizando todas estas herramientas se puede demostrar desde diferentes visualizaciones y además es una propuesta de bajo costo que se puede emplear en lugares donde los educadores no tienen acceso a herramientas tecnológicas o laboratorios experimentales.

Metodología

Con el fin de propiciar un flujo metodológico práctico y claro para los estudiantes, se realiza en primer lugar el cálculo de dos propiedades periódicas, la energía de ionización y el radio atómico; posteriormente, se presenta a los estudiantes el modelo didáctico en el que el estudiante puede comprender el comportamiento de estas propiedades y construir la identidad atómica para los elementos entre $Z=1$ y $Z=23$. A continuación, el cálculo de los diagramas de Möeller de configuración electrónica, se presenta como apoyo adicional en el que los estudiantes pueden relacionar los resultados del modelo didáctico con la referencia teórica y en este se define un código de colores que será necesario para la construcción posterior del pasaporte atómico por parte de los estudiantes. Finalmente, el profesor estima el desempeño de los estudiantes en la realización del modelo didáctico y el pasaporte atómico, por medio de la presentación individual de cada estudiante y el planteamiento de preguntas evaluativas. A continuación, se presenta el desarrollo metodológico en cada uno de sus pasos.

Cálculo de las propiedades periódicas (Energía de ionización)

Para relacionar una propiedad periódica con el modelo didáctico, se escogió la energía de ionización, que es la energía necesaria para extraer un electrón de un átomo aislado, la cual puede incrementar o disminuir, dependiendo de la cantidad de electrones ubicados en el orbital, para el cálculo gráfico de la energía de ionización y del radio atómico, se toman los valores reportados en la literatura para estas propiedades y se normalizan, luego se grafican superpuestos para visualizar de manera clara la interrelación entre ambas propiedades. Estos gráficos se utilizan como una referencia que permitió guiar al estudiante en la explicación de los resultados obtenidos con su modelo de caja de huevos.

Elaboración de los sistemas de orbitales electrónicos con las cajas de huevos.

Para la creación de los modelos didácticos, se van a utilizar cajas de huevo que es un residuo altamente producido por la industria avícola, cuyas cajas comúnmente constan de 6 agujeros de largo x 5 agujeros de ancho, para la representación del núcleo y de los subniveles energéticos. Asimismo, se define un código de colores para diferenciar los diferentes subniveles y para ello se usarán vinilos base agua de 4 colores con libre elección y bolas de ping-pong que tienen como objetivo representar los electrones con el spin apareado en el modelo corpuscular y los materiales para la construcción del modelo se muestran en la Figura 1.



FIGURA 1. Imagen con visión frontal de cajas de huevo con ping-pongs que representan los electrones.

Realización de los cortes de los orbitales electrónicos

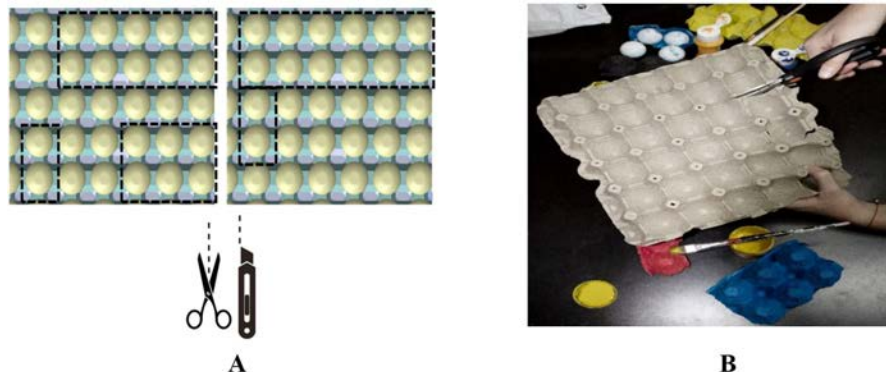
Haciendo uso de las cajas de huevos recolectadas, se procede a realizar los cortes para modelar los diversos subniveles energéticos y reconstruir así el elemento seleccionado según el número atómico, pero este modelo tiene una limitante y es que no concibe utilizar elementos con un número atómico mayor al Vanadio (V) con $z=23$, dado que a partir del Cromo (Cr) con $z=24$ se viola la regla de Madelung, porque experimentalmente

al encontrar la configuración electrónica por espectroscopia atómica, algunos átomos cambian el orden del subnivel energético, debido a sus sutiles diferencias energéticas (24).

Los cortes de las cajas de huevo para generar los orbitales, se pueden obtener de la siguiente manera: considerando la guía de las líneas punteadas se realiza el corte de los orbitales **s**, **p** y **d** como se muestra en la Figura 2A (Izquierda). Para los orbitales f se debe tomar otra caja de huevos a lo largo, ya que deben tener 7 orbitales (7filas). Sin embargo, con la limitante que las cajas de huevos vienen por docenas, y al cortarla solo se tendrían espacio para 12 esferas, por lo que se deben agregar 2 espacios más que vendrían de otra caja de huevo y posteriormente estos pueden unificarse con algún pegamento o cinta adhesiva como se ilustra en la Figura 2A (Derecha).

Las actividades del corte para la obtención de los modelos de subniveles energéticos en la realidad se muestran en la Figura 2B.

FIGURA 2. Cortes de los orbitales en las cajas de huevo: A) Cortes que corresponden a dos huecos (orbital s), seis huecos (orbital p), diez huecos (orbital d) y catorce huecos (orbital f) sin mostrar en el diagrama; B) Construcción del modelo de caja de huevos por parte de un estudiante.



Cálculo de los diagramas de Möeller de configuración electrónica (Orbital viewer)

El cálculo teórico y visualización de los orbitales electrónicos se realiza con el software Orbital viewer de libre acceso para diversos sistemas operativos(32). La construcción de los modelos se realiza con los datos de estructura del orbital, forma, fases, orientación espacial y número de nodos que proporciona el software, especificando el número cuántico y los parámetros atómicos. La visualización de los orbitales electrónicos permite tener una idea ilustrativa de los orbitales y los colores designados para cada orbital en los diagramas de Aufbau.

Pasaporte atómico

En la construcción del pasaporte atómico, el estudiante considera las características inherentes a cada átomo y que pueden servir como datos de identificación de la construcción del modelo físico y teórico, considerando los números cuánticos principal (n), azimutal (l), magnético (m_l) y de spin (m_s), la configuración electrónica, el retrato con el modelo de caja de huevos y el orbital de valencia en donde queda el electrón del número cuántico de spin. El objetivo principal es obtener una especie de pasaporte de viajes a nivel atómico, con el que el estudiante pueda identificar el elemento atómico a partir de la conceptualización de números cuánticos.

Análisis del impacto del modelo didáctico en el aprendizaje

Para promover el trabajo en equipo y la discusión constructiva se crean grupos de 4 estudiantes y se asignan 4 elementos, el equipo completo debe trabajar en el desarrollo del modelo didáctico, el pasaporte atómico para los 4 elementos y la resolución de 5 preguntas evaluativas que servirán para estimar el nivel de desempeño en la adquisición del conocimiento por parte de los estudiantes. Se requiere que todos los integrantes trabajen en equipo ya que la evaluación se realiza por exposición oral y escogiendo un elemento al azar por estudiante. Las 5 preguntas evaluativas se presentan a continuación:

1. ¿Qué se entiende por energía de ionización?
2. A partir de los valores investigados de energía de ionización respecto al número atómico, ¿Cómo se puede explicar esta tendencia para las sustancias elementales del periodo 2 de la tabla periódica?
3. ¿Qué relación encontró entre la energía de ionización y el radio atómico?
4. ¿Existen excepciones al principio de Aufbau? Mencione al menos 5 elementos que no cumplan el principio de Aufbau.
5. ¿Describa con sus palabras como le parece la experiencia con el modelo didáctico y brinde una calificación en la escala de 1 a 5, siendo 5 la máxima calificación y 1 la mínima?

La calificación de la actividad la da el profesor basado en la defensa oral de cada estudiante y la respuesta a una de las preguntas planteadas. Para asignar una calificación se crea una rubrica de evaluación que se adjunta en el Anexo1.

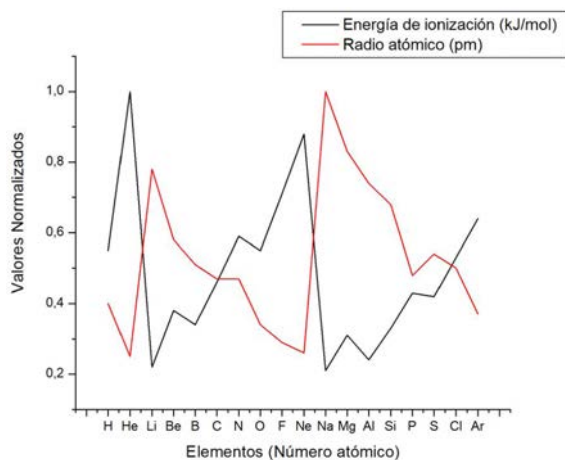
Los resultados cuantitativos obtenidos después de la evaluación se grafican para su análisis en un histograma de frecuencias y con ello caracterizar el impacto del modelo de la caja de huevos en el aprendizaje del estudiante.

Resultados y discusión

Conocimiento teórico y cálculo de propiedades periódicas con el modelo de cajas de huevos

Para el modelo de caja de huevos en el que se consideran los electrones como modelo corpuscular (esferas de ping-pong), se hace el llenado de los diferentes subniveles de energía, representados por la caja de huevos, siguiendo el principio de Aufbau, con el fin de representar el pasaporte atómico como una característica del átomo aislado seleccionado y con las propuestas de este modelo de explicar su periodicidad. En el entendimiento del modelo y su explicación de una propiedad periódica, se selecciona el potencial de ionización como un parámetro para explicar con la caja de huevos, para ello se define el núcleo atómico como una caja de huevos completa sin cortes, en donde se van a ubicar los protones de esferas de ping-pong marcados con el símbolo positivo (+), su cantidad va a depender del número atómico (Z) del átomo aislado. De igual forma, siguiendo con el modelo y como este se encuentra representando un átomo neutro, la cantidad de protones (+) y neutrones (0) que se seleccionen, va a ser igual de equivalente a la cantidad de electrones (-) para mantener la neutralidad; pero los electrones van a ser marcados con una particularidad y es que van a ser representados por una flecha hacia arriba o hacia abajo, cuyo objetivo es mostrar el spin del electrón como lo hace el momento magnético de spin (m_s). A continuación, como referencia para entender la periodicidad con el modelo de caja de huevos, se hace uso de la literatura para calcular la energía de ionización y radio atómico para los elementos hasta el número atómico de $Z=18$, usando los valores reportados de energía de ionización y radio atómico normalizados para hacer la comparación en la Figura 3.

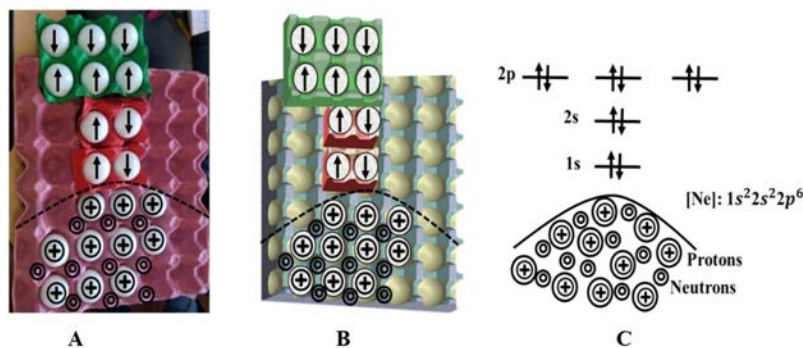
FIGURA 3. Representación gráfica de relaciones periódicas para los primeros 18 elementos con los valores normalizados de energía de ionización en kJ/mol y radio atómico.



Al graficar los diversos parámetros periódicos de la Figura 3, los cuales fueron obtenidos de reportes en la literatura, se puede observar en el diagrama con los valores normalizados de energía de ionización y radio atómico para ambas gráficas, que las tendencias de estas propiedades periódicas, son contrarias para los elementos atómicos considerados hasta el $Z=18$. Este efecto se da por la carga nuclear efectiva de cada átomo, ya que esta aumenta como lo hace la electronegatividad, lo que permite que el núcleo atómico presente una mayor atracción por los electrones, variando así el tamaño atómico.

El modelo atómico didáctico, se usará para entender, cómo se da el llenado de electrones siguiendo la regla de Hund, como se muestra en la Figura 4 para el Neón con número atómico $Z=10$ y las diversas maneras de representarlo:

FIGURA 4. Modelo atómico didáctico del elemento Neón con $z=10$: A) Caja de Huevo en modelo real; B) Modelo digital de la caja de huevo; C) Representación 2D del llenado de orbitales en el modelo de Bohr.



El Neón (Ne) es un gas noble muy poco reactivo, tiene completa la capa de valencia, ya que los electrones están ocupando todos sus orbitales disponibles y se escoge como propuesta para mostrar desde diversas ópticas, una manera de representar los modelos como guía para los estudiantes, esto da pie a que el modelo sea representado desde otras visualizaciones digitales o incluso en 2D.

En la Figura 4A se puede observar el modelo de caja de huevo que sirve como un orientador para la construcción de las “fotos” que se considerarán como las descriptoras de la configuración electrónica en la actividad del pasaporte atómico, como una alternativa para la virtualidad, en la Figura 4B se muestra el mismo modelado atómico, pero en imágenes renderizadas a nivel tridimensional con el software “solidworks”, como alternativa digital para aplicar el modelado atómico y el llenado electrónico de los diversos elementos químicos hasta el gas noble Argón [Ar] $z=18$. En la Figura 4C se tiene un modelo atómico similar al de Niels Bohr, en donde se tienen los subniveles a diferentes valores energéticos dependiendo su periodo y su subnivel; el llenado de los orbitales se hizo respetando el espín y las reglas de Hund hasta completar la capa externa atómica, de igual modo, se consideran las demás partículas subatómicas en todos los modelos, siendo los neutrones los responsables de evitar la repulsión nuclear.

Finalmente, el trabajo tiene un complemento teórico en la clase, ya que como particularidad se contempla la representación de los diagramas de Möeller, siendo la base para la construcción del modelo de las cajas de huevo como se muestra en la Figura 5A. En la literatura como uno de los antecedentes en la construcción de los diagramas de Möeller, se hizo uso de la mecánica cuántica que nos permite entender los diferentes subniveles energéticos como la solución de las funciones de probabilidad para cada átomo, siendo estas dependientes del tipo de elemento y el número atómico. En la Figura 5B se presentan las diferentes formas de los orbitales según su número atómico y el periodo en el que se localiza en la tabla periódica, construido con el software Orbital viewer, que contiene las diferentes soluciones a la ecuación de Schrödinger almacenadas en su algoritmo y que muestran otra forma del diagrama de Möeller:

FIGURA 5. Diagrama de Möeller de configuración electrónica: A) Regla de la diagonal de llenado de electrones para el diagrama de Möeller; B) Probabilidad en la solución a la función de onda que describe la región en la que el electrón puede encontrarse.

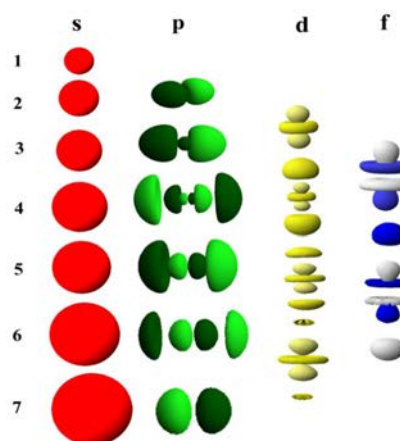
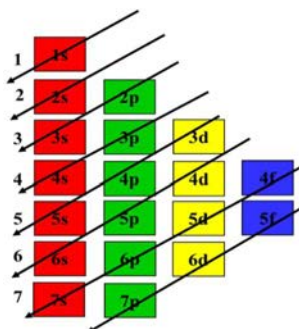
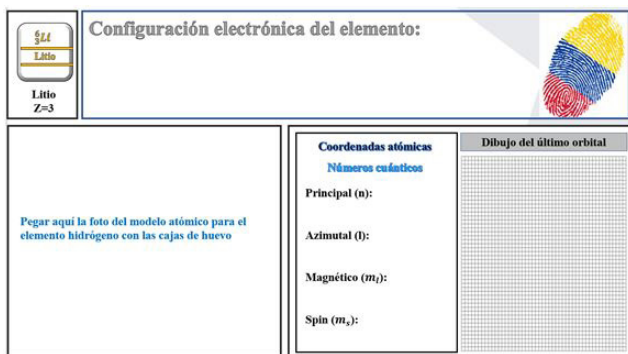
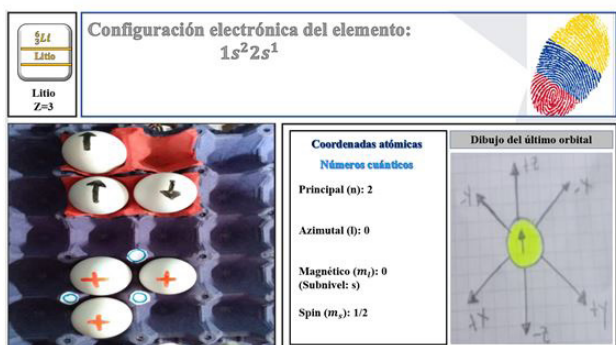


FIGURA 6. Fotos del trabajo grupal con los modelos atómicos accesibles: A) Plantilla de construcción del pasaporte atómico; B) Ejercicio realizado por el grupo de estudiantes en el curso de Química integrada.



A



B

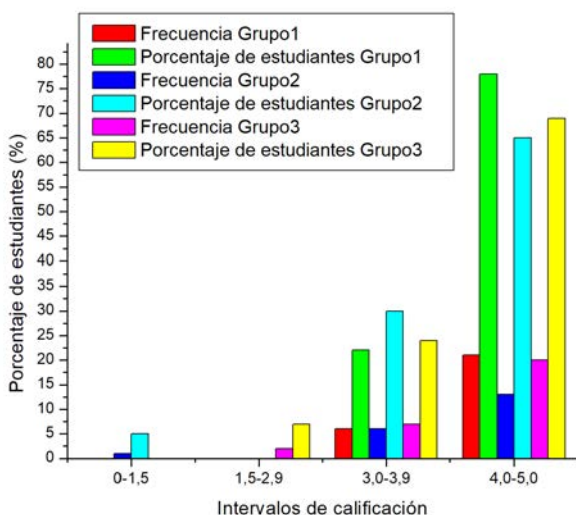
Para el diagrama de la Figura 5 se define un código de colores como factor diferenciador de cada subnivel energético, en donde el subnivel s tiene una coloración roja, el subnivel p tiene una coloración verde, el subnivel d tiene una coloración amarilla y el subnivel f tiene una coloración azul; estos fueron los patrones de colores considerados en los subniveles obtenidos de los cortes de las cajas de huevo. La regla de la diagonal en el diagrama de Möeller y el principio de Hund, fueron los parámetros considerados en el modelo didáctico para el llenado de los electrones, con el fin de ilustrar a los estudiantes con la visualización de los electrones, el efecto de electrones internos en el apantallamiento y sus consecuencias en la medida de la propiedad periódica de energía de ionización.

Después de la construcción del modelo de la caja de huevos, los estudiantes tienen como objetivo, la construcción del pasaporte atómico para los 10 primeros elementos de la tabla periódica, los cuales son: [H], [He], [Li], [Be], [B], [C], [N], [O], [F] y [Ne]; caracterizando cada elemento con su configuración electrónica como identificación ID y las coordenadas atómicas medidas por los números cuánticos como características del elemento. En la Figura 6A se muestra el pasaporte en formato con su propuesta y en la Figura 6B se muestra una de las intervenciones de uno de los estudiantes del grupo

Tres grupos de estudiantes de la Corporación Universitaria Unilasallista con edades entre 18 y 22 años, han preparado todos los modelos propuestos y han construido su propio diagrama de Möeller, donde se le asignó a cada uno de los grupos creados de 4 estudiantes, un elemento del periodo dos o tres de la tabla periódica y se pedía de manera descriptiva, que cada estudiante explicará su modelo y respondiera a las preguntas planteadas. Cada estudiante debía defender a partir de sus resultados, cómo se podría entender la periodicidad desde la relación entre el número atómico, la energía de ionización y el radio atómico. En el análisis como punto en común, se usaron como argumentos, conceptos sobre el efecto de apantallamiento electrónico, que viene descrito por las altas densidades electrónicas y también por la ocupancia orbital, que es dependiente de la cantidad de electrones, definido a partir del número atómico de cada elemento.

Para cuantificar los resultados grupales obtenidos y teniendo en cuenta los lineamientos de la rúbrica anexada, se realiza un histograma de frecuencias en el que se puede analizar el impacto de la actividad del modelo didáctico en el aprendizaje de los estudiantes. En la Figura 7 se puede ver la gráfica donde se observan las frecuencias y se relacionan con el respectivo porcentaje para cada grupo. Como se demuestra, cerca del 100% de los estudiantes en los tres grupos fueron aprobados en esta actividad y se consideró que sus conocimientos estaban en un nivel medio-alto. Entre un 65 y 78% de los estudiantes en los 3 grupos, obtuvieron un intervalo de notas sobresaliente, entre 4,0 y 5,0, indicando que el modelo fue exitoso en su objetivo de brindar a los jóvenes una ayuda didáctica, para ser aplicada en la comprensión de la estructura atómica, las propiedades periódicas y la aplicación del principio de Aufbau y el principio de Hund. Entre el 22 y 30% de los estudiantes en los tres grupos evaluados alcanzaron una puntuación básica, entre 3,0 y 3,9, un resultado que demuestra que una satisfactoria adquisición de los conocimientos a partir del modelo, manejo en general adecuado de los conceptos y terminología, sin embargo, se percibieron algunas confusiones o errores que son aclaradas al estudiante al momento de su exposición.

FIGURA 7. Gráfico de histograma de frecuencias vs intervalos de calificación donde se presentan los resultados de la actividad evaluativa del modelo didáctico aplicado para 3 grupos de la Corporación Universitaria Unilasallista con edades comprendidas entre los 18 y 22 años.



Finalmente, para los estudiantes en los intervalos de notas que no son aprobatorias, entre 0 y 2,9, se observaron errores de diversos tipos, como determinar números cuánticos incorrectos, no respetar las reglas de llenado de electrones según del diagrama de Möeller y el principio de Hund, y se percibió una confusión general para exponer los conceptos y terminologías del modelo, sin embargo el profesor trabajó de manera individual con estos alumnos para ayudarles a aclarar sus confusiones respecto al tema.

Conclusión

Los modelos didácticos son de vital importancia para reforzar el desarrollo cognitivo y educativo del estudiante, nuestra estrategia que consistió en un modelo sencillo de cajas

de huevos y electrones bajo un modelo corpuscular con ping-pong's y la construcción de un pasaporte atómico, resultó ser muy útil para la comprensión de la construcción de los diagramas de Möeller o Aufbau, las cuáles son teorías de alta complejidad y con un nivel de abstracción del nivel atómico y subatómico. La enseñanza y aplicación de este modelo didáctico en tres grupos de estudiantes de la Corporación Universitaria Unilasallista con edades entre 18 y 22 años, arroja un resultado aprobatorio de casi el 100% de los estudiantes evaluados, con más de un 65% de los estudiantes con calificación sobresaliente, lo que evidencia el fortalecimiento de los conocimientos sobre las propiedades periódicas de los elementos a nivel electrónico y la apropiación adecuada de los conceptos. Finalmente, se demuestra que el uso de este tipo de estrategia didáctica basada en el aprendizaje activo y significativo, resulta ser una herramienta exitosa y económica, que puede ser fácilmente implementada en las aulas de clase y puede ser una alternativa de enseñanza de la química en instituciones que carecen de instalaciones experimentales.

Agradecimientos

En este trabajo se agradece a la Corporación Universitaria Unilasallista por permitir desarrollar esta actividad en las instalaciones y a la facultad de ciencias agropecuarias, de igual forma a la unidad de ciencias básicas y la facultad de ingenierías.

Referencias

1. Jensen WB. Logic, history, and the chemistry textbook I. Does chemistry have a logical structure? *J Chem Educ.* 1998;75(6):679–87.
2. Jensen WB. Logic, history, and the chemistry textbook II. Can we unmuddle the chemistry textbook? *J Chem Educ.* 1998;75(7):817–28.
3. Baum WM. Molar and molecular views of choice. *Behav Processes.* 2004;66:349–59.
4. Baum WM. Molar Versus Molecular As a Paradigm Clash. *J Exp Anal Behav.* 2001;75(3):338–41.
5. Nelson PG. Quantifying Molecular Character. *J Chem Educ.* 2000;77(2):245–8.
6. Talanquer V. Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry “triplet.” *Int J Sci Educ.* 2011;33(2):179–95.
7. Acher A, Arcà M, Sanmartí N. Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. *Intersciences [Internet].* 2006;91:750–782. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.20217/abstract>
8. Talanquer V. Chemistry education: Ten facets to shape Us. *J Chem Educ.* 2013;90(7):832–8.
9. Marchese FT. The chemical table: An open dialog between visualization and design. *Proc Int Conf Inf Vis.* 2008;(Figure 1):75–81.
10. Scerri ER. Happy 150th Birthday to the Periodic Table. *Chem - A Eur J.* 2019;25(31):7410–5.

11. Egdell RG, Bruton E. Henry Moseley, X-ray spectroscopy and the periodic table. Vol. 378, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2020.
12. Sapre VB, Jain SD, Moseley H. Periodic Table and Henry Moseley. Sci Report. 2019;(May):19–22.
13. Gordin MD. The Textbook Case of a Priority Dispute: D. I. Mendeleev, Lothar Meyer, and the Periodic System. Nat Engag. 2012;59–82.
14. Seaborg GT. Evolution of the modern periodic table. J Chem Soc - Dalt Trans. 1996;(20):3899–907.
15. Freeman RD. “New” schemes for applying the aufbau principle. J Chem Educ. 1990;67(7):576.
16. Kurushkin M. Teaching Atomic Structure: Madelung’s and Hund’s Rules in One Chart. J Chem Educ.
17. Summons LM. Display of electronic configuration by a periodic table. J Chem Educ. 1948;(1):658–61.
18. Huestis DL, Goddard WA. The valence bond Aufbau principle for molecular excited states. Chem Phys Lett. 1972;16(1):157–63.
19. Wong DP, Background H. Theoretical justification of madelung’s rule. J Chem Educ. 1962;465.
20. Helmenstine AM. Exceptions to Madelung’s rule [Internet]. ThoughtCo: Science,Tech and Math. 2018. Available from: <https://www.thoughtco.com/definition-of-madelungs-rule-605325>
21. Meek TL, Allen LC. Configuration irregularities : deviations from the Madelung rule and inversion of orbital energy levels. Chem Phys Lett. 2002;362(August):362–4.
22. Hanley JRI, Hanley JR. A low-cost classroom demonstration of the Aufbau Principle. J Chem Educ. 1979;56(11):747.
23. Everett DH. A demonstration model illustrating the aufbau principle. J Chem Educ. 1959;36(6):298–9.
24. Edwards PP, Egdell RG, Fenske D, Yao B. The periodic law of the chemical elements: “The new system of atomic weights which renders evident the analogies which exist between bodies”. Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci. 2020;378(2180).
25. Hiler W, Paul R. Ideas prácticas para promover el aprendizaje activo y cooperativo: 27 maneras prácticas para mejorar la instrucción [Internet]. 2014. 1–20 p. Available from: https://www.criticalthinking.org/.../SP-Active_and_coop_learning.pdf
26. Day EL, Pienta NJ. Transitioning to ebooks: Using Interaction Theory as a Lens to Characterize General Chemistry Students’ Use of Course Resources. J Chem Educ. 2019;

27. Bulte A, Westbroek H, de Jong O, Pilot A. A research approach to designing chemistry education using authentic practices as contexts. *Int J Sci Educ.* 2006;28(9):1063–86.
28. Da silva JB. David Ausubel's Theory of Meaningful Learning: an analysis of the necessary conditions. *Res Soc Dev.* 2020;2020:1–13.
29. Lins LD, Coelho MC, Valéria S, Lins S, Gomes S, Melo SA, et al. Indigenous Intercultural Physics Teaching Based on David Ausubel's meaningful Learning theory. *Int J Adv Eng Res Sci.* 2020;6495(3):289–92.
30. Agra G, Soares N, Simplício P, Lopes MM, Melo M das graças, Lima da Nóbrega M. Analysis of the concept of Meaningful Learning in light of the Ausubel's Theory. *Rev Bras Enferm.* 2019;72(1):248–55.
31. Moreira MA. El aprendizaje significativo como un concepto subyacente a subsumidores, esquemas de asimilación, internalización de instrumentos y signos, constructos personales y modelos mentales, compartir significados e integración constructiva de pensamientos, senti. *Actas del encuentro Int sobre Aprendizaje significativo.* 1997;1(1):19–44.
32. Manthey D. Orbital Viewer 1.04 [Internet]. 2004. Available from: <https://www.orbitals.com/orb/ov.htm>