



Aplicabilidad de la realidad aumentada y las ciencias computacionales en el aula de clase

Applicability of augmented reality and computer science in the classroom

Juan Pablo Betancourt Arango¹, María Del Carmen Suárez Millán¹ y Yeison Andrés Franco Arango¹

Resumen

Las nuevas generaciones se han inclinado hacia un mundo de formación y socialización digital donde la educación se ha visto involucrada de manera directa, pues la forma de aprender de los estudiantes ha evolucionado notablemente y está mediada por la integración de tecnologías emergentes. Por lo cual el docente debe implementar nuevas metodologías de enseñanza y articular a ellas dichas tecnologías. De esta forma, se evidencia que el aprendizaje basado en problemas (ABP) y el aprender haciendo (**Learning by Doing**) como las metodologías más compatibles frente al uso de tecnologías como la realidad aumentada (RA) y las ciencias computacionales (CC) con el fin de incentivar los procesos de enseñanza – aprendizaje frente a conceptos en el área de química en estudiantes de bachillerato, en donde se logra captar en ellos, el interés por aprender la química de una manera innovadora y potencializada a través del uso de la educación 4.0, mejorando las habilidades de resolución de problemas, capacidad de análisis y toma de decisiones, que le servirán al estudiante en un futuro próximo para su desempeño profesional en un mercado laboral globalizado a partir del desarrollo industrial.

Palabras clave

Aprendizaje basado en problemas, Aprender haciendo, Ciencias computacionales, Educación 4.0, Realidad aumentada.

Abstract

The new generations have leaned towards a world of digital training and socialization where education has been directly involved, as the way students learn has evolved significantly and is mediated by the integration of emerging technologies. Therefore, the teacher must implement new teaching methodologies and articulate these technologies to them. In this way, it is evident that problem-based learning (PBL) and learning by doing as the most compatible methodologies against the use of technologies such as augmented reality (AR) and computer science (CC) in order to encourage teaching-learning processes against concepts in the area of chemistry in high school students, where it is possible to capture in them, the interest in learning chemistry in an innovative and potentiated way through the use of education 4.0, improving problem-solving skills, analytical and decision-making skills, which will serve the student in the near future for their professional performance in a globalized labor market based on industrial development.

Keywords

Problem-based learning, Learning by doing, Computer science, Education 4.0, Augmented reality.

¹ Universidad de Caldas, Colombia.

Introducción

La sociedad está en un constante cambio y evolución, por ello, las generaciones se adaptan y desarrollan nuevas costumbres para ver el mundo que los rodea (Cataldi y Dominighini, 2015). Las actuales y nuevas generaciones conviven y se desenvuelven en medios tecnológicos conectándose la mayoría del tiempo al computador, al móvil y demás aparatos electrónicos, generando así una inmersión en un mundo netamente virtual, donde día a día, con un solo clic se accede a un sin fin de información (Ramírez et al., 2020). La revolución digital marca un nuevo camino, una era tecnológica que radica el inicio de una etapa de posmodernidad, para el desarrollo de seres humanos que actualmente son conocidos como “nativos digitales” (Taylor, 2006). Estos se caracterizan por tener una gran familiaridad con las diferentes tecnologías de la información y comunicación (TIC), ya que utilizan a una temprana edad esta variedad de artefactos (Kennedy y Fox, 2013). Estos individuos, poseen la particularidad de ser formados en un ámbito social impregnado por la tecnología, la cual tiene más influencia para socializar que para estudiar (Cataldi y Dominighini, 2015), identificando así un punto de debate y reflexión en el estudio de la educación.

En este sentido, los sistemas educativos deben reformularse y adaptarse a las generaciones actuales, que son técnicamente nativos digitales frente a la gran variedad de recursos tecnológicos (Bennett et al., 2008). Por ello, la forma de enseñar actual ha venido cambiando de una manera rápida e incluso abrupta, desde los procesos de enseñanza y aprendizaje basado en un modelo educativo tradicional a un modelo educativo basado en las TIC, dado que, los avances tecnológicos han contribuido a ello, debido a la accesibilidad de la información para aprender no solo de manera presencial sino también virtual (online), a través de páginas web, blogs, tutoriales, foros, apps, entre otros (Ramírez et al., 2020). Hay que reconocer que no todos los lugares del mundo cuentan con los recursos tecnológicos adecuados para acercarse a esta era tecnológica, puesto que, apenas están entrando en una educación 2.0 o 3.0, mientras que países que son potencia a nivel mundial ya se encuentran construyendo una educación 4.0 y 5.0, indicando que, el acceso al desarrollo tecnológico y el crecimiento dentro de la formación nativa digital, sigue enmarcada por los estatus sociales y el factor socioeconómico (Selwyn, 2009).

Por ello, es importante para los docentes el cuestionarse sobre las necesidades educativas existentes a raíz de estas nuevas formas de aprender e intereses que presentan los jóvenes, llevando a cabo reflexiones sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y aún más de la química, para analizar los cambios actuales y los retos que tiene el docente en el aula de clase con el desarrollo de las nuevas tecnologías. A partir de esto, surgen cuestiones a reflexionar en relación con: *¿Cómo incentivar el interés por la química en un ambiente de aprendizaje mediante el uso de herramientas tecnológicas?*, *¿De qué manera enseñar cuando las tecnologías de la comunicación brindan respuestas instantáneas a lo demandado?*, *¿Qué retos tendría la enseñanza de la química para formar jóvenes en la sociedad actual?* Estos cuestionamientos se dan debido a que, si bien la tecnología y los medios digitales son un aporte sustancial para el desarrollo de nuevos aprendizajes, es importante analizar el cómo la tecnología nos permite adquirir nuevas destrezas en cuestión de enseñanza, a diferencia del entorno tradicional, pero con una salvedad y es que estos procesos deben pasar a través de los maestros, puesto que, la tecnología puede

respaldar y potenciar nuevas maneras de instruir, más no de reemplazar el instructor, por lo tanto, debe tratarse la tecnología como una herramienta, que permita potencializar la enseñanza y el aprendizaje de la química.

Las tecnologías de hoy han representado un cambio significativo en los estilos de vida, además de generar diferentes contribuciones en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, pasando de una era de información computacional hacia el desarrollo de una era cognitiva computacional, evaluando el modelado de estos procesos al interior del cerebro, favoreciendo las capacidades metacognitivas y autorreguladoras (Sanabria, 2018). El enfoque de la ciencia, tecnología y la sociedad (CTS), es fundamental dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje contemporáneos, al conectarse con estos procesos de educación científica–tecnológica, se incentiva el desarrollo de procesos críticos y ciudadanos (Braga da Silva et al., 2021). Por ello, la ciencia en conjunto con la tecnología han desencadenado procesos de evolución social y cambios significativos en la educación, de lo cual, es indispensable dentro del progreso de la humanidad (Martín, 2021).

Todo esto nos lleva a evidenciar la necesidad de tener un entrenamiento previo para una adecuada incorporación de nuevas estrategias educativas centradas hacia el desarrollo de clases virtuales de química y la evolución progresiva de la enseñanza de la química (Leite, 2020). De igual forma, es importante comprender el recorrido histórico y evolutivo de los conceptos, con el fin de que los estudiantes evalúen el contexto histórico de esta y generen una buena comprensión conceptual, además de involucrar diferentes simuladores y diversas estrategias innovadoras en el aula de clase, con el fin de superar las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de los diferentes conceptos de química.

Educación 4.0 en el mundo actual

El concepto de educación 4.0 nace como una respuesta a las necesidades de la revolución 4.0, con el fin de inducir al desarrollo de nuevas habilidades, conocimientos y la identificación del origen de estos (Pérez et al., 2019). Con esta era revolucionaria, vienen acompañados retos como: el cambio de las prácticas pedagógicas y culturales de las diferentes escuelas y universidades, para la formación del profesorado en la aplicación de herramientas tecnológicas para los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias; de esta manera, la era de la educación, se convierte en un camino lleno de diversos aspectos que incluyen el uso de la tecnología, caracterizado por el desarrollo de procesos flexibles, deslocalización del conocimiento y una transformación digital (Velásquez et al., 2022).

La educación 4.0 permite la integración de herramientas y metodologías que refuercen, afiancen y permitan nuevas maneras de aprender y aplicar los conocimientos, dado que, la misma industria induce al desarrollo de la educación 4.0, generando la exigencia en los estudiantes, frente al desarrollo de habilidades para adaptarse a los rápidos cambios de la sociedad del conocimiento involucrando tecnologías digitales, inteligencia artificial (IA), *big data*, *cloud computing*, realidad aumentada (RA), internet de las cosas (IoT), *Machine Learning* y el uso de las mismas ciencias computacionales (CC) (Flores et al., 2019). Con la aplicación de estas herramientas tecnológicas, se puede generar una pluralidad de innovaciones en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química (Cerrillo, 2020), al centrarse en la RA y las CC, éstas se denota como artilugios que pueden inducir hacia una aproximación de los jóvenes en la formación del pensamiento científico, pero no de una manera tradicional, sino de una forma versátil y flexible (Frías et al., 2016; Cerrillo, 2020).

Realidad aumentada (RA) en aula de clase

La RA se refiere a una composición de ambientes reales a los cuales se les integra información digital que puede ser visualizada y asociada con el mundo actual. Esto le permite al usuario, tener la capacidad de observar a través de un dispositivo electrónico con cámara unos elementos específicos ya sea en 2D o 3D, de manera estática o en movimiento, además se pueden vincular otros recursos remotos como una página web, un audio, un video, entre otros (Merino et al., 2015). Ahora bien, desde una ciencia exacta como lo es la química, se puede conectar estas herramientas con procesos didácticos para el mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje, permitiendo una mejor conexión entre aspectos teóricos y experiencias prácticas, por ejemplo Cerrillo, (2020) a través de un proyecto de RA aplicada a la química orgánica empleando el software *HP Reveal*, mediante un enfoque mixto utilizando una rúbrica, un quiz o examen rápido como indicadores evaluativos, se evidenció en términos cuantitativos una calificación promedio de 8.3/10, lo cual indica que, el uso de la RA mejora la identificación de fórmulas químicas y la nomenclatura de compuestos orgánicos en el aprendizaje de los estudiantes de bachillerato reportados en este estudio.

Es así como la RA, tiene una serie de implicaciones en los procesos secuenciales de enseñanza y aprendizaje (SEA) (Merino et al., 2015; Hernández et al., 2021), al utilizarla como una herramienta tecnológica con el fin de resolver problemas científicos a nivel del grado curricular que se esté impartiendo, puesto que, por medio de esta herramienta es posible inducir a un mejoramiento en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química (Izquierdo y Aduriz, 2003). En este sentido, es fundamental saber qué elementos intervienen en el uso de esta tecnología para llevar a cabo su implementación y articulación en el aula de clase, además es necesario tener el software encargado de interpretar y transformar la información de la escena creada, un activador de ficha técnica de información, el cual puede ser una imagen, un entorno físico, un marcador, un objeto o en su nivel más básico un código QR (Sevilla, 2015).

Adicionalmente, se debe tener en cuenta la tipología o niveles en función del tipo de activadores de la información asociada a los escenarios creados o aumentados, por ello, actualmente se distinguen cuatro niveles frente al desarrollo de herramientas de RA, un nivel cero, el cual consiste en hiperenlaces en el mundo físico a través de códigos QR, que cumplen la función de activadores de la información asociada a un elemento en mayor medida como hipervínculos, pero también como texto, SMS, Vcards o número móvil (Moreno et al., 2018). El nivel uno, utiliza formas geométricas sencillas por lo general cuadrados que permiten superposición de los modelos en 3D, donde por medio de un software de RA, dichas figuras geométricas pueden ser escaneadas con la cámara webcam y así emergen los modelos tridimensionales lo cual es muy llamativo y útil en la enseñanza de las ciencias (Figuroa, 2012; Moreno et al., 2018). El nivel dos, comprende el reconocimiento de imágenes y objetos (*Markerless*), distinguiendo varios tipos de acuerdo a los activadores que se emplean, un primer tipo de activador son láminas con imágenes fotografías o dibujos, y un segundo tipo pueden ser objetos o personas los cuales son reconocidos y activan la información de la RA, se destacan apps móviles como *Augment*, *iSkull* y *Anatomy 4D* (Moreno et al., 2018). Finalmente, el nivel tres es el resultado de la visión aumentada a través de gafas de RA o lentes biónicas (Moreno et al., 2018). Actualmente, se reportan gran variedad de aplicaciones, para mostrar las diferentes utilidades que puede presentar la RA para el fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química

permitiendo la visualización de estructuras químicas de baja y alta complejidad como se puede observar en la Figura 1, algunos ejemplos de estas aplicaciones son: [RappChemistry AR](#), [MoleculARweb](#) y [Hope](#) el cual es fruto de una *startup* que imparte las ciencias usando tecnología, pues se pretende que los estudiantes aprendan de una forma innovadora usando inteligencia espacial, para lo cual se basa en tres pilares fundamentales en el desarrollo que son: la inteligencia espacial (IE), la RA y la IA.

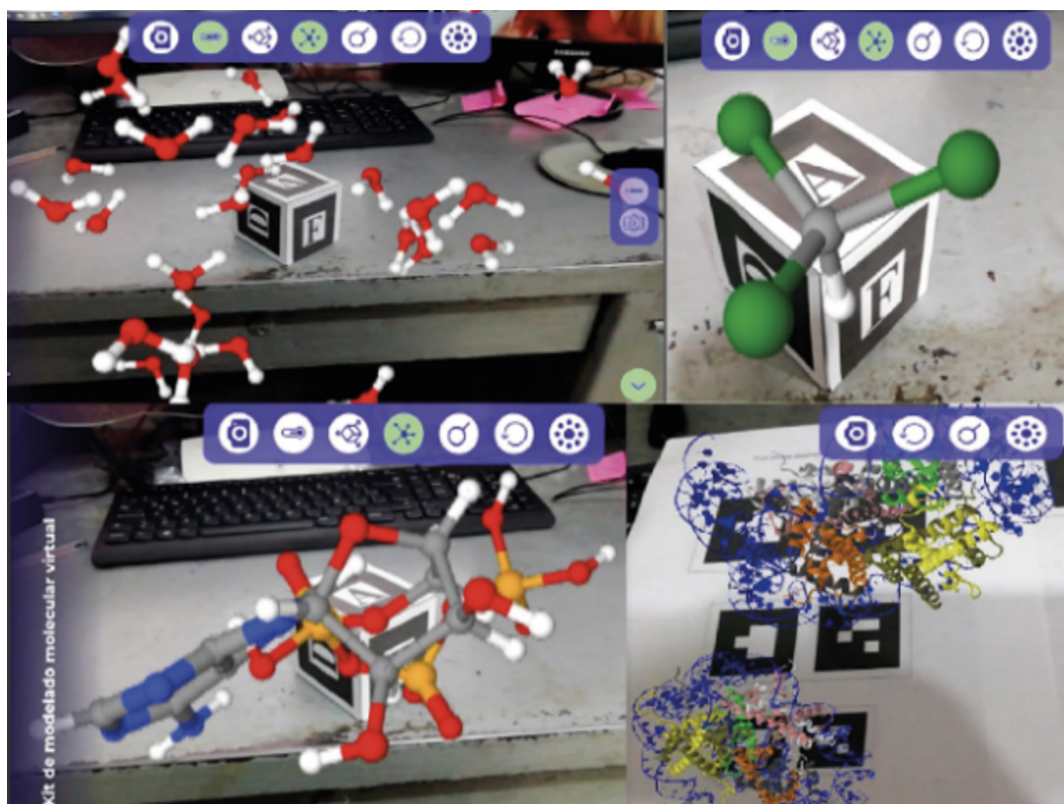


FIGURA 1. Aplicaciones de la RA empleando [MoleculARweb](#) para la visualización de estructuras químicas de baja y alta complejidad. Fuente: Obtenidos empleando el aplicativo [MoleculARweb](#).

De esta manera, el concepto de RA explica el uso de información con relación a la misma realidad utilizando medios digitales, permitiendo así ampliar el panorama real, induciendo a un gran interés por la sociedad y por llevar la aplicación de esta herramienta tecnológica en los diferentes procesos de enseñanza y aprendizaje llevados a cabo en el aula de clase, de igual forma, facilita el aprendizaje de las ciencias en general, por medio de la visualización de objetos, además de aplicarse como herramienta complementaria para el análisis de datos y diferentes fenómenos en 3D (Millán et al., 2016). La RA aplicada hacia la enseñanza y aprendizaje de la química es indispensable, dado que, la característica fundamental de esta ciencia se ve reflejada en una adecuada correlación entre las diferentes teorías y conceptos químicos con los fenómenos experimentales, por ende, la RA es una herramienta muy versátil, fácil de adaptar hacia diferentes ciencias, permitiendo la interacción del sujeto con diferentes entornos virtuales (Hernández et al., 2021), generando así una integración de la información conceptual proporcionada a través de un modelo de representación de forma tridimensional, induciendo a una correlación de los aspectos teóricos con la experiencia generada a través de la práctica (Merino et al., 2015).

Las ciencias computacionales (CC) en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química

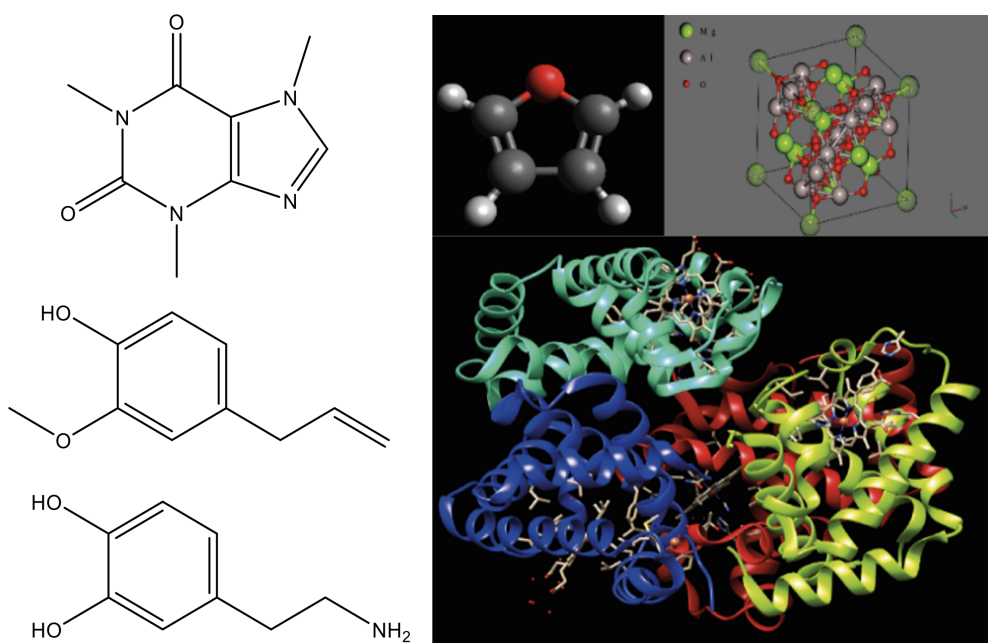
La aplicación de la tecnología para el fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje en estudiantes de bachillerato, para el área de química bajo el ámbito educativo actual es mínimo, puesto que, actualmente son pocas las instituciones educativas que se atreven a la aplicación de herramientas tecnológicas debido a la falta de recursos a nivel institucional o a la misma capacitación que debe de poseer el personal docente para llevar este tipo de intervenciones en el aula, a través del uso de herramientas tecnológicas dentro de una era educativa 4.0 como lo son, por ejemplo, la RA y las CC. Estas herramientas tecnológicas dentro del entorno educativo desempeñan un papel importante en el proceso de mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje de diversas ciencias fuertes y específicamente para el caso de la química, permite potencializar estos aspectos e incentivar al desarrollo de procesos didácticos dentro del aula de clase. En este caso, desde la enseñanza es utilizada como una estrategia didáctica con la que, el docente puede explicar un concepto de una manera fácil y entendible (Bedolla y Olvera, 2009), utilizando las CC como una mediación pedagógica para el aprendizaje de conceptos de química general, es posible inducir a un mejor entendimiento de conceptos abstractos, al inducir en un cambio significativo dentro del modelo tradicional de enseñanza y aprendizaje que se ha utilizado en las diferentes escuelas, permitiendo potencializar el aprendizaje de gran variedad de conceptos de química en el aula de clase (Suárez y Betancourt, 2023).

Adicionalmente, desde la SEA, es necesario llevar a cabo una secuencia lógica dentro del aula de clase, para facilitar una captación de los conceptos e inducir al cambio conceptual de estos, puesto que mediante el uso de la SEA, se induce al desarrollo de nuevas habilidades como por ejemplo, el pensamiento crítico hacia el aprendizaje de diferentes compuestos inorgánicos (Vega y Callejas, 2020), por ello, las CC puede representar aspectos importantes en la formación de estudiantes de bachillerato y carreras universitarias, dado que, las CC es entendida como una rama de la química que está entrelazada con las diferentes tecnologías emergentes de la educación actual, y es aplicada a la resolución de problemas propios de esta ciencia desde un punto de vista teórico (Leiva y Estrin, 2011). De igual forma, es importante dar a conocer a los estudiantes el potencial de las CC como una estrategia didáctica para la enseñanza de los contenidos, pero actualmente algunas metodologías didácticas inducen a errores conceptuales generados también por el docente, induciendo a malentendidos que impiden al estudiante su acercamiento al concepto correcto y su representación (Acuña, 2018).

Hay propuestas educativas que involucran las CC para el mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química, estas ideas se basan esencialmente en la elaboración de plataformas virtuales, que permiten al estudiante acceder a diferentes conceptos del curso en cuestión y utilizan herramientas tecnológicas como videos animados, juegos de plataforma, actividades interactivas y *softwares* de CC, donde el estudiante adquiere conocimientos en los diferentes temas de su curso y luego por medio de una evaluación se permite medir el progreso del aprendizaje (Castillo et al., 2017). De igual forma, se utiliza la CC en los procesos aplicativos de educación farmacéutica y en el ámbito de investigación química, a diferentes niveles de formación profesional con el fin de evidenciar su aplicación, por ejemplo, el desarrollo de metodologías tipo DIFAC (Diseño de fármacos asistido por computadora) (Saldívar et al., 2017). Además, en los procesos de formación escolar de básica y media, se pueden realizar acercamientos frente a la aplicación

de las CC como una herramienta tecnología, permitiendo un uso básico de *softwares* que contribuyan a un mejor entendimiento de conceptos de química, pero es necesario que el docente tenga el conocimiento sobre el manejo de las herramientas que tiene el *software* para utilizarlo hábilmente en el aula de clase, con el fin de poder explicar conceptos que son difíciles de entender a primera instancia sobre química general, dado que, son abstractos y requieren de un análisis a escala microscópica (Suárez y Betancourt, 2023). En ese sentido para afianzar y aportar al uso de la CC como una mediación pedagógica en el aula de clase, el docente puede recurrir a representaciones de conceptos de químicas, mediante el uso de aplicaciones adecuadas que permitan potencializar los procesos de la enseñanza y aprendizaje de la química en el aula de clase, encontrando programas como: *Avogadro* (Torres et al., 2017), *Burai (Quantum ESPRESSO)* (Prasad et al., 2019), *Gaussview* (D’Ambruoso et al., 2018), *ChemSketch* (Pongkendek et al., 2021), *UCSF Chimera* (Pettersen et al., 2021), y *VMD (Visual Molecular Dynamics)* (Burgin et al., 2018), entre otros.

FIGURA 2. Aplicaciones de las ciencias computacionales para la representación de estructuras en 2D y 3D. Fuente: Obtenidos empleando los programas de libre acceso *ChemSketch*, *Burai*, *UCSF Chimera*, *Avogadro*.



En la Figura 2, se observan algunas representaciones que se pueden llevar a cabo en el aula de clase a través de diversos *softwares* de CC, por ejemplo, *Avogadro* permite la visualización de estructuras químicas en 2D y 3D, *Burai* para el análisis sobre la formación y desarrollo de celdas cristalinas, *Gaussview* permite el análisis de propiedades fisicoquímicas mediante cálculos computacionales. Adicionalmente, para el análisis de estructuras más complejas correspondientes a metabolitos primarios o secundarios, es posible realizar un análisis de estos mediante visualizadores en *UCSF Chimera* o *VMD (Visual Molecular Dynamics)*, permitiendo generar en los estudiantes acercamientos sustanciales, hacia la comprensión de estructuras biológicas que se encuentran en el interior de diversos seres vivos.

Actualmente, el desarrollo de diferentes métodos computacionales ha generado diversas contribuciones hacia la educación y la industria, puesto que los enfoques computacionales han ayudado en la modelización molecular y el análisis evolutivo de fármacos, mediante su diseño e interacción biológica, además a través de enfoques computacionales ha facilitado el comprender las diferentes propiedades que puede tener

una molécula a nivel biológico (Saldívar et al., 2017). Por ello, las CC como herramientas tecnológicas han permitido acelerar el DIFAC mediante el uso de cálculos mecánico – cuánticos para la obtención de las condiciones estructurales de diferentes moléculas orgánicas por medio de su optimización y posterior determinación de sus frecuencias vibracionales, con el fin de esclarecer de forma teórica los espectros de infrarrojo, raman y resonancia magnética nuclear la identificación de la molécula y su rol químico – biológico dentro del organismo (Parra et al., 2023)

Otras aplicaciones de las CC están enmarcadas dentro de los procesos de análisis predictivo de la relación estructura – actividad (QSAR) y estructura – propiedad (QSPR), con el fin de evaluar el grado de actividad biológica que tenga una determinada molécula y su potencialidad dentro de la química medicinal y el desarrollo de nuevos fármacos (Dominguez et al., 2019). Además, las CC tiene aplicaciones tecnológicas en la enseñanza de las conformaciones de cristales y celdas cristalinas, presentando un realce frente a la utilidad y eficacia de los modelos tridimensionales de celdas unitarias cristalográficas en la enseñanza de las ciencias, además de ejemplificar el uso de las impresiones en 3D como una herramienta útil dentro de los educadores (Rodenbough et al., 2015). De igual forma, es importante comprender nuevos modelos para el análisis de estructuras cristalinas a través del uso de estructura químicas en 3D y diferentes modelos virtuales aplicadas hacia la enseñanza de la conformación de cristales y la simetría de estos (Casas y Estop, 2015), por ello, investigaciones como la de Smith, (1995), describe desde esta época el desarrollo de un programa llamado *MolView*, el cual permite al usuario mostrar y analizar diversidad de estructuras químicas permitiendo al estudiante, realizar una determinación y un análisis distributivo de las diversas propiedades fisicoquímicas que puede presentar una molécula y un sistema cristalino (Smith, 1995).

Las CC en el aula de clase está influenciada por la capacidad de avance tecnológico inducido actualmente, puesto que es allí donde se interconecta este tipo de progreso y se aplica hacia el mejoramiento de la educación, de igual forma, esto en relación con los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química es posible llevar las CC al aula de clase, con el fin de realizar procesos de demostración sencillos hacia la aplicación de conceptos y un mayor entendimiento de estos (Bedolla y Olvera, 2009). Cuando se lleva las CC a procesos investigativos avanzados estudiando sistemas de alta complejidad, se utilizan softwares que requieren un alto poder de cómputo como lo es el programa *GROMACS* con el cual es posible realizar cálculos computacionales para la determinación de dinámicas moleculares que incluyen el uso de campos de fuerza y evaluación de los procesos de interacción de un analito con el medio en el que se rodea, además, es posible realizar análisis frente procesos de inhibición enzimáticos en presencia de un determinado fármaco (Parra et al., 2021). De todo esto, se demuestra como al implementar programas de CC y el uso de simulaciones con un nivel semiempírico, se puede realizar una aplicación de esta ciencia para la determinación de propiedades energéticas y condiciones estructurales, logrando la estimulación de esta rama de la química hacia los estudiantes desde su formación básica y profesional (Cappetta y Micheli, 2019).

Aprendizaje basado en problemas (ABP)

El ABP es establecido como una forma en la que se aplican los conocimientos aprendidos por parte del estudiante, y estos son llevados para su respectiva aplicación frente a la resolución de un determinado problema, dejando atrás los procesos magistrales y se

centra en la aplicación de los conocimientos para el desarrollo de problemas cotidianos (Morales y Alfonso, 2006; Fernández y Aguado, 2017). Es por ello que, se debe considerar la implementación de este tipo de metodologías, de la mano con aplicaciones ya creadas para su integración con la RA, con el fin de poder desarrollar y ejecutar el contenido o el plan de enseñanza en el área curricular de química. Cabe aclarar que estas herramientas tecnológicas también se pueden extrapolar a grados inferiores como en la educación primaria y la educación básica o media. De esta manera, es posible considerar el ABP, como una estrategia metodológica que estimule en los estudiantes el deseo por el saber y funcione como mediación para la adquisición de saberes, los cuales se puedan ver reflejados en la aplicación de la solución de problemas cotidianos (Fernández y Aguado, 2017), pues con este modelo, los estudiantes pueden trabajar de manera individual como de forma grupal o cooperativa, el cual induce al descubrimiento de nuevas ideas para la resolución de problemas cada vez más complejos en el contexto de la materia que se esté enseñando, aquí el docente tiene un rol de guía, facilitando la información requerida por los estudiantes, lo cual corresponde a la capacitación e integración de la RA, el acceso al software que se emplee, y por supuesto al material educativo y temáticas que correspondan en el currículum del curso de química. Con la integración de esta tecnología emergente y el ABP, surge una combinación especialmente útil para desarrollar habilidades de orden superior, por ejemplo, el pensamiento crítico, investigación científica, resolución de problemas cotidianos, entre otros (Palos, 2020).

Lo anterior es una demostración a lo que se denomina “contextualizar la ciencia”, ya que es una innovación didáctica, donde se introduce algo nuevo y se modifica de manera honda y continua las características de la enseñanza impartida en un contexto dado, sobre todo, en la perspectiva en que los estudiantes adoptan su propio aprendizaje y forma de organizarse (Caamaño, 2011). El análisis realizado por Meroni et al., (2015), sobre las innovaciones en la enseñanza, implica un proceso de contextualización de las ciencias, a través de problemas cotidianos, dado que, la aplicación de RA en el aprendizaje de la química en contexto, podría ser un indicador del esfuerzo de los maestros en avanzar hacia una transición de un foco de enseñanza clásico basado en teorías, en el lenguaje especializado e incorporación de explicaciones de estudiantes, a uno basado en la modelización, aplicación tecnológica y desarrollo multidisciplinar de un proceso de enseñanza y aprendizaje aplicado al contexto cotidiano. De esta forma, el ABP se caracteriza por ser una metodología activa y centrada en el estudiante, con el fin promover el aprendizaje de conceptos a partir la construcción de ideas que tienen los estudiantes como consecuencia del análisis de un determinado problema, permitiendo analizar la realidad y el desarrollo de nuevas ideas por medio de lo que ya saben los estudiantes (Da Silva et al., 2019).

Learning by doing en el aula de clase

Aprender haciendo (*Learning by doing*) es una metodología que apuesta por un aprendizaje basado en la práctica, para descubrir mediante la experimentación habilidades que permitan la construcción de múltiples explicaciones, con relación a los fenómenos estudiados durante un aprendizaje teórico (Palos, 2020). De esta manera, se permite aplicar los contenidos en un contexto real, por lo que los estudiantes potencializan sus competencias, ya que sienten que son partícipes del proceso educativo. Con ello, no solo se está escuchando y tomando nota de una clase, sino que también, se está tomando acción en ella, y en consecuencia de esto, los conocimientos son alcanzados con mayor firmeza.

El planteamiento de esta metodología, trata de convertir las clases en laboratorios, donde se lleva a cabo una verdadera puesta en escena de las técnicas y recursos disponibles, considerando la clase como un espacio de prácticas educativas. Por ello, hay momentos en los cuales, los estudiantes son objeto de estas experiencias y en otras ocasiones, son autores de las mismas, desarrollando un trabajo preferiblemente de forma colaborativa.

En los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, esta metodología didáctica adquiere entonces un papel trascendente, donde es importante aprender los conceptos básicos de las ciencias sin libros de texto ni conferencias, dado que, el aprender haciendo ha sustituido al aprender escuchando. Por ello, se entiende que, para captar el interés de los estudiantes en el ámbito de la química, es necesario dotarlos con herramientas que permitan el uso de la metodología de *Learning by doing*, de tal forma que, puedan desarrollar conexiones entre los conceptos teóricos y la misma práctica de ellos, logrando de esta forma, una vinculación de estrategias dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje en el aula de clase (Valenceja, 2021). El *Learning by doing* es aplicable a gran variedad de asignaturas como música, ciencias sociales, matemáticas, lenguaje, ciencias naturales, entre otras, puesto que, permite que los estudiantes encuentren un sentido a lo que aprenden en clase cuando aplican sus conocimientos y habilidades, de esta manera, se da aprendizaje inducido por el proceso de acción sobre las cosas, los materiales y los estudiantes, más no es entendido como un proceso pasivo, puesto que, el hecho de que los estudiantes tengan que aplicar los conceptos, que se enseñan de los libros a las actividades prácticas, genera en los estudiantes la necesidad de investigar, reflexionar y aplicar la teoría aprendida en una situación real en la que tengan que desenvolverse (Valenceja, 2021).

Reflexión

La evolución digital que ha tenido el mundo en las últimas décadas, ha impactado de manera evidente las últimas generaciones, surgiendo la necesidad de una reinención en los procesos educativos. Por ello, es importante analizar los procesos pedagógicos que se llevan a cabo dentro del aula de clase, cuando se comprenden tecnologías emergentes para la transformación y desarrollo de una educación 4.0. En el caso de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química, es importante cuestionarnos sobre el: *¿Cómo incentivar el interés por la química en un ambiente de aprendizaje mediante el uso de herramientas tecnológicas?, ¿De qué manera enseñar cuando las tecnologías de la comunicación brindan respuestas instantáneas a lo demandado?, ¿Qué retos tendría la enseñanza de la química para formar jóvenes en la sociedad actual?*

Es aquí, donde debemos considerar e identificar la unión entre la educación y la tecnología, lo cual resalta una evolución a lo largo de los años, pasando por etapas desde la educación 1.0 hasta la educación 4.0, incluso se ha comenzado a manejar el término de educación 5.0, el cual es entendido como una red sensorial – emotiva, que integra los diferentes avances científicos como la RA, para la transformación de los procesos educativos (Ramírez et al., 2020). Por ello, hoy en día muchos investigadores hacen alusión a las limitaciones que representan las experiencias llevadas a cabo, mediante el uso de metodologías magistrales, por lo cual, reconocen la importancia de adaptarnos a los avances científicos, y cómo estos, deben de incursionar en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y aún más específicamente de la química. Cuando se incorporan estos avances tecnológicos, por ejemplo, el uso de la RA y las CC en el aula de clase, se rompen barreras, que anteriormente estaban limitadas frente al análisis de fenómenos químicos.

Para este caso, el uso de la RA en el aula de clase, facilita el desarrollo de laboratorios virtuales, permitiendo que los estudiantes interactúen con los compuestos químicos, para finalmente, comprender el concepto químico que explica un determinado fenómeno que no es entendible a simple vista, puesto que, hay conceptos de química que no son observables y adquieren un cierto grado de dificultad frente su aprendizaje, como por ejemplo, el analizar diferentes teorías químicas a nivel molecular, como la geometría de enlace, los orbitales atómicos y moleculares, la distribución de cargas, la simetría de las moléculas, entre otras (Sahin y Yilmaz, 2020).

Buj, (2017) propone e implementa una solución aplicable y de gran impacto a la hora de integrar la educación y la tecnología, induciendo a que los estudiantes generen sus propios marcadores de RA, asociando imágenes de las moléculas y cristales en 3D a través de “*Aumentaty Author*”, que es un software que reconoce el marcador con la escena creada, activando la visualización en RA de la imagen deseada, que pueden ser gran variedad de moléculas y redes cristalinas iónicas. Dado lo anterior, esto corresponde a un nivel uno de RA que supone formas geométricas sencillas, que permiten la superposición de formas geométricas en 3D, y más adelante, en una próxima fase, conduzca a un proceso de desarrollo en nivel dos. Sin duda alguna, esta iniciativa permite el desarrollo del interés en los estudiantes por el aprendizaje de la química, logrando así, interiorizar los conceptos por medio de las metodologías como el *Learning by doing* y el ABP, puesto que, son estrategias que van encaminadas al desarrollo de habilidades y competencias de la asignatura, induciendo a la conexión entre la teoría y la práctica. De esta manera, se permite la aplicación de estas metodologías, llevando los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química hacia la cotidianidad, para permitir que los estudiantes construyan sus propios marcadores y modelos de RA, además de involucrar el sujeto de una forma activa e interactiva en el proceso de aprendizaje y desarrollo de los conceptos de química, aumentando así el gusto por la ciencia y la investigación. Es así como una experiencia virtual de laboratorio involucra el uso de herramientas de la educación 4.0, como la RA y las CC, contribuyendo a mejorar los procesos de enseñanza del docente y a potencializar el aprendizaje en el estudiante, induciendo a un mayor entendimiento de conceptos químicos que se encuentran a nivel atómico y molecular (Sahin y Yilmaz, 2020).

En la actualidad, el uso de las tecnologías de la información y la comunicación permiten que los estudiantes induzcan al desarrollo de respuestas instantáneas a las problemáticas actuales, por ejemplo, en el aula de clase es importante inducir los procesos de enseñanza y aprendizaje de forma creativa, para generar un entendimiento de los conceptos que se está impartiendo y haciendo que el estudiante desarrolle la habilidad de conexión científico – tecnológica para el desarrollo de respuestas claras a problemáticas puntuales. Esto se puede lograr, a través de la combinación de metodologías como el ABP y el *Learning by doing*, con tecnologías como la RA y las CC, puesto que, se integran componentes lúdicos, pedagógicos y tecnológicos de una manera eficaz para el mejoramiento de los procesos llevados a cabo en la asignatura de química, permitiendo que el estudiante se involucre en la temática a estudiar, a través del uso de diferentes medios electrónicos para ver y crear imágenes a nivel molecular de los compuestos y sustancias químicas a trabajar, permitiendo maximizar la comprensión de los diferentes conceptos a nivel microscópico y macroscópico, y de esta manera, interiorizar y correlacionar dichos conceptos con vivencias y experiencias de su vida diaria, además de captar la atención del estudiante frente a las diversas estrategias de enseñanza y aprendizaje de la química (Reina et al., 2013).

Así mismo, se presentan retos frente a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química para la formación de jóvenes de acuerdo a una sociedad que está en una constante evolución, por ello, existen retos frente al desarrollo de habilidades tecnológicas por parte del docente para impartir sus conocimientos, además, del acceso de los recursos tecnológicos es otro factor limitante en países tercermundistas, dado que, aún existen las diferencias en las clases sociales y una lucha por el acceso a recursos educativos y tecnológicos. De esta manera, estas iniciativas pedagógicas propuestas frente al uso de la RA y las CC en el aula de clase, aún siguen siendo procesos que se encuentran en desarrollo, aunque diferentes empresas han mejorado y fabricado nuevos softwares que permiten la creación de nuevos materiales educativos. Actualmente, dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje es significativo tener presente el enfoque 3D en la enseñanza de las ciencias, puesto que, es importante incentivar al desarrollo de habilidades visoespaciales dentro de la formación de estudiantes, docentes e investigadores, resaltando de igual manera, el valor que tiene la identificación de ideas centrales las cuales se caracterizan por ser temas disciplinares que son indispensables para la formación de estudiantes dentro del área de las ciencias, y los conceptos transversales que permiten la interconexión de estos con diferentes áreas del conocimiento fomentando así la interdisciplinariedad de las temáticas y el desarrollo de un estudiante integro, bajo el modelo de construcción de un currículo integrado (Valera y Padilla, 2022).

La aplicación de todas estas herramientas ha permitido inducir al desarrollo y evolución de la didáctica de la química como un nuevo campo de conocimiento y que tiene un gran enfoque de investigación dentro de la aplicación de los procesos tecnológicos hacia el aula de la clase, para buscar soluciones lúdicas y creativas dentro de los problemas de enseñanza y aprendizaje de la química (Carriazo y Saavedra, 2004). Pero no solamente se genera un aporte de las CC y la RA hacia el desarrollo de metodologías y espacios didácticos dentro del aula de clase, sino que también, involucra la interconexión entre el conocimiento didáctico del contenido (CDC) y el conocimiento tecnológico – pedagógico del contenido (CTPC), para incentivar el pensamiento de los docentes dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje, haciendo una reflexión hacia los nuevos posibles escenarios didácticos que son indispensables desarrollar, al momento de realizar una integración de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) sobre el aula de clase y sobre el currículo mismo (Salica et al., 2020). Autores como Candela y Viafara, (2014), resaltan la importancia de analizar el CDC de un profesor a través de la aplicación de herramientas metodológicas tipo CoRe y PaP-eRs, permitiendo identificar y potencializar el desarrollo del CDC orientado hacia el mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje de la química (Candela, F. y Viafara, 2014).

Otras investigaciones establecen el concepto de teatro científico como una propuesta didáctica para difundir ideas o temas científicos, creando así espacios de reflexión entre la sociedad y la comunidad científica, influenciando así los procesos de enseñanza y aprendizaje, además de su respectiva integración con diversas disciplinas, de tal forma que, es otra herramienta que es llevada al aula de clase y es funcionalizada con las TIC, para la creación de diversos ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) (Merchán, 2018) y softwares educativos enfocados hacia la química (Hoyos et al., 2021). Por ello, dada la interconexión de todos estos aspectos, es posible inducir a un mejor entendimiento de la química, ya que, esta ciencia, al ser experimental, es posible aplicarla y representarla a través de expresiones teatrales que amplían el componente curricular (De Souza, 2018). Estas estrategias didácticas son de vital importancia dentro de la enseñanza y aprendizaje

de la química actual, puesto que, se está evidenciando como el enseñar química está siendo atrapado por un mecanicismo burdo, induciendo a una mala enseñanza de tres conceptos que son fundamentales para el aprendizaje de la química actual, que son: “estructura atómica”, “estructura molecular” y “enlace químico” (Villaveces, 2001). Por ello, la enseñanza de errores conceptuales y la falta de desarrollo de un pensamiento crítico en los estudiantes hace resaltar la necesidad de la aplicación de todas estas propuestas metodológicas y tecnológicas anteriormente nombradas, para buscar la manera adecuada de enseñar, favoreciendo el desarrollo de nuevas estrategias didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de la química, puesto que, dentro de una educación contemporánea, todavía se sigue evidenciando la existencia de maestros que imparten los conceptos de química utilizando técnicas de memorización, retrocediendo a una enseñanza tradicional y magistral, de allí la necesidad de incorporar actividades y metodologías aplicadas a contextos reales y un ABP para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico entre estudiantes, haciendo uso de laboratorios en contexto para analizar la aplicación teórica y práctica (Rodríguez et al., 2020), y el desarrollo de un modelo de aprendizaje profundo que permita al estudiante aprender los conceptos de química para la vida y aplicarlos al mundo real en el contexto actual (Camacho, 2008).

Conclusiones

La asignatura de química suele tener dificultad para la mayoría de los estudiantes, puesto que representa un reto y un nuevo conocimiento en el entendimiento del mundo que nos rodea, además, las acciones o estrategias pedagógicas empleadas por algunos docentes no poseen conexión con los estudiantes, siendo esto un obstáculo para los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química. Todo esto, hace que las propuestas e iniciativas de reinversión de educación 4.0, sean necesarias en los modelos educativos de las instituciones actuales, no solo en química, sino que sean transversales a todas las áreas del conocimiento para educar y formar jóvenes con una perspectiva distinta frente a la resolución de problemas. Por ello, con el uso de las tecnologías, tanto los docentes como los estudiantes, pueden generar experiencias educativas enriquecedoras centradas hacia la educación con calidad. De esta manera, se incentiva al uso de las herramientas tecnológicas, transformándose en un proceso más eficiente gracias a la accesibilidad de equipos y *softwares*, requiriendo mejores intérpretes y analistas frente a la toma de decisiones cada vez más ajustadas a la realidad actual, mostrando la importancia de formar estudiantes desde la escuela secundaria con unas habilidades y competencias para la resolución de problemas, con una capacidad de análisis suficiente para la toma de decisiones coherentes a los avances que les exigirá el mundo y el mercado laboral en el cual se desempeñarán en un futuro próximo.

De igual forma, se debe tener conocimiento, ante las iniciativas lúdicas, pedagógicas (ABP y *Learning by doing*) y tecnológicas (RA y CC) en el aula de clase, puesto que, estas presentan limitaciones en el ámbito educativo, ya que a la fecha los métodos computacionales han contribuido entre muchas otras aplicaciones, al análisis efectivo de datos, al filtrado de colecciones de compuestos para seleccionar moléculas en una evaluación experimental y la generación de hipótesis para ayudar al entendimiento de conceptos generales y específicos de la química. Por lo cual, en el presente artículo de reflexión, se proporciona un análisis frente al cómo se puede realizar un acercamiento de herramientas tecnológicas en el aula de clase, para potencializar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química,

resaltando la importancia en la determinación del interés particular de los estudiantes, y aún más en los profesores, para que estos apliquen este tipo de herramientas dentro de sus clases, generando así nuevas contribuciones hacia la didáctica de la química, al permitir correlacionar la teoría con la práctica, mediante la identificación y aplicación de los conceptos de química en la cotidianidad al usar estas herramientas tecnológicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados de la Universidad de Caldas por el apoyo recibido. Asimismo, al Semillero de Investigación Pedagógica y al Grupo de Investigación Innovación Educativa, adscrito a la Facultad de Artes y Humanidades de la Universidad de Caldas.

Contribuciones de los autores

JPBA: Análisis y reflexión de la temática, YAFA: Aportes en la elaboración del documento, MCSM: Análisis en la conceptualización, reflexión, redacción y revisión del documento, de igual forma, los autores aceptaron la versión final y todos los autores han leído y aceptado la versión del manuscrito.

Referencias

- Acuña, F. (2018). La Química Computacional com a eina per promoure l'aprenentatge basat en modelsen els centres d'educació secundària. *Universitat de Les Illes Balears*. https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/149407/tfm_2017-18_MFPR_fap012_1741.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bedolla, C. A., y Olvera, C. O. (2009). La química computacional en el salón de clase. *Educación Química*, 182–186. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30025-9](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30025-9)
- Bennett, S., Maton, K., y Kervin, L. (2008). The “digital natives” debate: A critical review of the evidence. *British Journal of Educational Technology*, 39(5), 775–786. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00793.x>
- Braga da Silva, E. V., Albino, A. O. N., y Josivânia, J. M. D. (2021). O enfoque CTS na educação profissional e tecnológica: uma revisão do campo entre os anos 1995 e 2020. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 50, 237–256. <https://doi.org/10.17227/ted.num50-12129>
- Burgin, S. R., Oramous, J., Kaminski, M., Stocker, L., y Moradi, M. (2018). High school biology students use of visual molecular dynamics as an authentic tool for learning about modeling as a professional scientific practice. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 46(3), 230–236. <https://doi.org/10.1002/bmb.21113>
- Buj, M. L. R. (2017). Aumentando la realidad química. *Modelling in Science Education and Learning*, 10(2), 223–238. <https://doi.org/10.4995/msel.2017.7056>
- Caamaño, A. (2011). Enseñar Química mediante la contextualización. la indagación y la modelización. *Alambique Didáctica delas Ciencias Experimentales*, 69, 21–34.
- Camacho, J. (2008). La enseñanza de la química desde el modelo integrado de aprendizaje profundo, MIAP. Fortalezas y debilidades. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 1(23), 115–125. <https://doi.org/10.17227/ted.num23-153>

- Candela, F. y Viafara, R. (2014). Pa-PeR al programa educativo por orientación reflexiva: una propuesta de formación para el profesorado de química. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 35, 89–111. <https://doi.org/https://doi.org/10.17227/01213814.35ted89.111>
- Cappetta, J. E., y Micheli, C. A. (2019). Ejercitación computacional para estudiar reacciones de sustitución nucleofílica aromática bimolecular. *Educación Química*, 30(1), 80-92. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.1.63867>
- Carriazo, J., y Saavedra, M. (2004). La didáctica de la química: una disciplina emergente. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 15, 73–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.17227/ted.num15-5563>
- Casas, L., y Estop, E. (2015). Virtual and Printed 3D Models for Teaching Crystal Symmetry and Point Groups. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1338–1343. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00147>
- Castillo, W., Álamo, L. M., y Rojas, L. (2017). EduQuim, una herramienta computacional para el aprendizaje y la enseñanza de Química en la escuela secundaria. *Educere*, 21(68), 127–141.
- Cataldi, Z., y Dominighini, C. (2015). La generación millennial y la educación superior. Los retos de un nuevo paradigma. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 12(19), 14–21.
- Cerrillo, S. R. (2020). Realidad aumentada y aprendizaje en la química orgánica. *Universidad de Guadalajara*, 12(1), 106–117. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v12n1.1853>
- D'Ambruoso, G. D., Cremeens, M. E., y Hendricks, B. R. (2018). Web-Based Animated Tutorials Using Screen Capturing Software for Molecular Modeling and Spectroscopic Acquisition and Processing. *Journal of Chemical Education*, 95(4), 666–671. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00511>
- Da Silva, I. M., Branco, W. C., y Carneiro, M. B. (2019). Avaliação da aplicação da metodologia aprendizagem baseada em problemas na disciplina de tecnologia da informação e comunicação no ensino de química. *Educacion Quimica*, 30(3), 64–78. <https://doi.org/10.22201/FQ.18708404E.2019.3.68493>
- De Souza, A. (2018). O processo de elaboração de peças de teatro científico na formação inicial de professores de química. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, 44, 185–200. <https://doi.org/10.17227/ted.num44-9000>
- Dominguez, L., Goode, G., y Aguayo, R. (2019). Relaciones cuantitativas estructura-actividad/propiedad en dos dimensiones empleando el programa R. *Educación Química*, 30(2), 27. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67211>
- Fernández, C. L., y Aguado, M. I. (2017). Aprendizaje basado en problemas como complemento de la enseñanza tradicional en Fisicoquímica. *Educacion Quimica*, 28(3), 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.03.001>
- Figueroa, M. (2012). Modelo De Objetos De Aprendizaje Con Realidad Aumentada. *Revista Internacional de La Educación En Ingeniería*, 5(1), 1–7.

- Flores, A., Rodríguez, J., y Chávez, G. (2019). La transformación de la educación básica en México desde la perspectiva de la Educación 4.0. *Research, Technology and Best Practices in Education*, 103–111. <https://bit.ly/37zKFyR>
- Frías, M. V., Arce, C., y Flores, P. (2016). Uso de la plataforma [socrative.com](https://www.socrative.com) para alumnos de Química General. *Educación Química*, 27(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.09.003>
- Hernández, D., Bottner, E., Cataldo, F., y Zaragoza, E. (2021). Aplicación de Realidad Aumentada para Laboratorios de Química. *Educación Química*, 32(3), 30. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.3.68129>
- Hoyos, E. A., Acosta, C. A., Aristizabal, J. H., Mesa, M. J., Trujillo, C. A., Rincón, J. A., Gutiérrez, Á., y Jaime, A. (2021). Influencia de un software educativo en la consolidación del aprendizaje de superficies cuádricas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 49, 123–142. <https://doi.org/10.17227/ted.num49-9574>
- Izquierdo, M., y Adúriz, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science y Education*, 12, 27–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/a:1022698205904>
- Kennedy, D. M., y Fox, B. (2013). ‘Digital natives’: An Asian perspective for using learning technologies. *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology*, 9(1), 64–79.
- Leiva, E., y Estrin, D. (2011). Simulaciones matemáticas del comportamiento de átomos y moléculas. *Química Computacional*, 21(124), 50–54.
- Leite, B. S. (2020). Da aula presencial para a aula virtual: relatos de uma experiência no ensino virtual de Química. *Educación Química*, 31(5), 66. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.5.77097>
- Martín, J. (2021). Nada es lo que parece: una reflexión sobre las visiones deformadas de la ciencia. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 50, 257–273. <https://doi.org/10.17227/ted.num50-9996>
- Merchán, C. A. (2018). Modelamiento pedagógico de Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA). *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, 2(44), 51–70. <https://doi.org/10.17227/ted.num44-8989>
- Merino, C., Pino, S., Meyer, E., Garrido, J. M., y Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.004>
- Meroni, G., Copello, M. I., y Paredes, J. (2015). Enseñar química en contexto. Una dimensión de la innovación didáctica en educación secundaria. *Educación Química*, 26(4), 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.002>
- Millán, E., Carvajal, L., y García, J. (2016). Realidad aumentada: Estrategia didáctica para fortalecer los procesos de Enseñanza y Aprendizaje en el programa Ingeniería de Sistemas de la Universidad de la Amazonia. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 1442–1447. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4766>

- Morales, D. G., y Alfonso, Y. M. D. (2006). La importancia de promover en el aula estrategias de aprendizaje para elevar el nivel académico en los estudiantes de Psicología. *Revista Iberoamericana de Educación*, 40(1), 1-17. <https://doi.org/10.35362/rie4012532>
- Moreno, N. M., Franco, R., y Franco, A. J. (2018). Augmented reality in chemistry: An experience in secondary education through elements 4D. *Journal of Science Education*, 19(2), 71-94. <http://chinakxjy.com/>
- Parra, J. G., González, J., Perozo, E., y Iza, P. (2023). Un procedimiento para la obtención de los espectros IR, Raman y RMN de compuestos orgánicos mediante cálculos mecánico-cuánticos con el software ORCA-5.0.3. *Educación Química*, 34(1), 20-59. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.1.82742>
- Parra, J. G., Iza, P., y Perozo, E. (2021). Una guía para la estimación de la tensión interfaciales y el espesor de la interface de un sistema agua/hidrocarburo usando el programa gromacs-4.5.4. *Educación Química*, 32(3), 80. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.3.76027>
- Palos, A. (2020). Aplicación de realidad aumentada a la docencia de asignaturas de Física y Química de E.S.O. y Bachillerato. *Universidad de Salamanca*. <http://hdl.handle.net/10366/143733>
- Pérez, P., Rivera, I., y Bolaños, M. (2019). La Educación 4.0 de Forma Simple. *Debates En Evaluación y Currículum, Instituto Politécnico Nacional*, 5, 133-143. <http://posgradoeducacionuatx.org/pdf2019/A002.pdf>
- Pettersen, E. F., Goddard, T. D., Huang, C. C., Meng, E. C., Couch, G. S., Croll, T. I., Morris, J. H., y Ferrin, T. E. (2021). UCSF ChimeraX: Structure visualization for researchers, educators, and developers. *Protein Science*, 30(1), 70-82. <https://doi.org/10.1002/pro.3943>
- Pongkendek, J., Marpaung, D., Nurvitasari, E., y Parlindungan, J. (2021). The Use of Chems sketch To Increase Student Learning Outcomes and Motivation In Learning Hydrocarbons. *J-PEK (Jurnal Pembelajaran Kimia)*, 6(1), 9-18. <https://doi.org/10.17977/um026v6i12021p009>
- Prasad, T., Shah, M., Singh, P., y Wani, T. A. (2019). Ab-initio Calculations of Properties for NbB₂ Under High-Pressure Using Quantum ESPRESSO. *SSRN Electronic Journal*, figure 1, 836-843. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3355175>
- Ramírez, R., Rivera, C., y Hernández, J. S. M. (2020). Educación 4.0: Acercamiento a una nueva manera de aprender con herramientas online. *Revista Cognosis: Revista de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación*, 5(2). 10.33936/cognosis.v5i2.1997
- Reina, M., Nava, Z., Francisco, C., González, M., Manuel, J., y Flores, P. (2013). Marcadores para la Realidad Aumentada para fines educativos. *ReCIBE*, 2(3), IV. <https://doi.org/10.32870/recibe.v2i3.17>
- Rodenbough, P. P., Vanti, W. B., y Chan, S. W. (2015). 3D-Printing Crystallographic Unit Cells for Learning Materials Science and Engineering. *Journal of Chemical Education*, 92(11), 1960-1962. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00597>

- Rodríguez, R., Augusto, J., Mateus, C., Esperanza, D., y Cárdenas, M. (2020). Laboratorio de química bajo contexto: insumo para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. *TED: Tecné, Episteme y Didaxis*, 47, 33–52. doi.org/10.17227/ted.num47-11334
- Saldívar, F., Prieto, F. D., y Medina, J. L. (2017). Descubrimiento y desarrollo de fármacos: un enfoque computacional. *Educación Química*, 28(1), 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.06.002>
- Sahin, D., y Yilmaz, R. M. (2020). The effect of Augmented Reality Technology on middle school students achievements and attitudes towards science education. *Computers and Education*, 144, 103710. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
- Salica, M., Almirón, M., y Porro, S. (2020). Modelos de conocimiento didáctico del contenido científico y tecnológico en docentes de Química y Física. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 48, 127–141. <https://doi.org/10.17227/ted.num48-12384>
- Sanabria, L. B. (2018). Tecnologías de hoy : perspectivas y desafíos de la educación en la era digital. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, 2(44), 7–12. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/8985>
- Selwyn, N. (2009). The digital native - myth and reality. *Aslib Proceedings: New Information Perspectives*, 61(4), 364–379. <https://doi.org/10.1108/00012530910973776>
- Sevilla, A. (2015). Realidad Aumentada en Educación. *Universidad Politécnica de Madrid Gabinete de Tele-Educación*, 1–39.
- Smith, T. J. (1995). MOLView: A program for analyzing and displaying atomic structures on the Macintosh personal computer. *Journal of Molecular Graphics*, 13(2), 122–125. [https://doi.org/10.1016/0263-7855\(94\)00019-0](https://doi.org/10.1016/0263-7855(94)00019-0)
- Suárez, M. del C., y Betancourt, J. P. (2023). La Química Computacional como mediación pedagógica para el aprendizaje de conceptos inorgánicos. *Educación Química*. 34(1), 70–85. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.1.77684>
- Taylor, M. L. (2006). Generation NeXT Comes to College: 2006 Updates and Emerging Issues. *A Collection of Papers on Self Study and Institutional Improvement*, 2, 48–55. http://www.taylorprograms.org/images/Gen_NeXt_article_HLC_06.pdf
- Torres, C., Varela, P., Frías, M. V., y Flores, P. (2017). Implementación de Avogadro como visualizador y constructor de moléculas para alumnos de primer año de Odontología en la asignatura Química General y Orgánica. *Educación Química*, 28(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.09.003>
- Valenceja, R. (2021). Metodología learning by doing aplicada a science en educación primaria. *Universidad de Valladolid*. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/51006/TFG-L3111.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valera, R. K., y Padilla, K. (2022). Comprendiendo el enfoque 3D (conceptos centrales (DCI's), conceptos transversales (CCC's) y prácticas científicas (SEP's)): Una propuesta de enseñanza para la química. *Educación Química*, 33(4), 123–142. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.0.81803>

- Vega, Y. P., y Callejas, M. M. (2020). Compuestos inorgánicos en el ambiente. Secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) para desarrollar pensamiento crítico en su aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 48, 181-202. <https://doi.org/10.17227/ted.num48-12387>
- Velásquez, T., Flórez, L., y Castro, H. F. (2022). Pedagogías emergentes y educación 4.0: hacia un modelo de enseñanza holístico. *Revista Boletín Redipe*, 11(1), 551-564. <https://doi.org/10.36260/rbr.v11i1.1662>
- Villaveces, J. L. (2001). La Enseñanza De La Estructura De Los Átomos Y De Las Moléculas. *TED: Tecné, Episteme y Didaxis*, 9. <https://doi.org/10.17227/ted.num9-5628>