VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Integración de Prototipos Tridimensionales Impresos en 3D para Fortalecer el Aprendizaje de la Química: Una Estrategia de Innovación Educativa en el Nivel Medio Superior

Integration of 3D-Printed Prototypes to Enhance Chemistry Learning: An Educational Innovation Strategy at the Upper Secondary Level

Juan Antonio Sánchez Márquez[1], Mariana Ruelas Rodríguez[2], Johana Lizbeth Alvarado Palafox[3], Luis Alberto Benavidez Olguín[3]

[1]Escuela del Nivel Medio Superior de Salamanca, Colegio de Nivel Medio Superior UG.
ja.sanchez@ugto.mx
[2] División de Ciencias Sociales y Administrativas, Campus Celaya Salvatierra UG.
m.ruelasrodriguez@ugto.mx
[3] Escuela del Nivel Medio Superior de Irapuato, Colegio de Nivel Medio Superior UG.
alvarado.jl@ugto.mx, la.benavidezolguin@ugto.mx

Resumen

La enseñanza de la química enfrenta el desafío de favorecer la comprensión de fenómenos que, por su naturaleza microscópica, suelen percibirse como abstractos y difíciles de visualizar. Esta situación repercute en el interés de los estudiantes y en la construcción de aprendizajes significativos. El presente trabajo describe el diseño, implementación y evaluación de una estrategia didáctica basada en el uso de prototipos tridimensionales impresos en 3D para apoyar el aprendizaje de contenidos relacionados con la estructura atómica, los enlaces químicos y la geometría molecular en estudiantes de nivel medio superior. La metodología comprende el diseño digital de modelos mediante el software FUSION 360, su fabricación mediante impresión 3D y su incorporación en actividades de aprendizaje apoyadas por guías didácticas. La evaluación considera tanto el aprendizaje conceptual como el desarrollo de habilidades socioemocionales y de trabajo colaborativo mediante actividades de aula, cuestionarios y observación del desempeño estudiantil. Se espera que la incorporación de recursos tridimensionales contribuya a disminuir los niveles de abstracción propios de la disciplina, favorezca la comprensión espacial de los modelos químicos y promueva una participación más activa de los estudiantes durante las actividades experimentales y colaborativas. Asimismo, el proyecto contempla la generación de recursos educativos abiertos que permitan replicar la estrategia en otros contextos y niveles educativos, contribuyendo al Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 relativo a una educación de calidad.

Palabras clave: Impresión 3D, Química, Enseñanza, Innovación, Modelos, Átomo, Recursos, Didácticos.

Introducción

La enseñanza de las ciencias experimentales demanda estrategias que permitan a los estudiantes comprender fenómenos cuya representación ocurre en escalas microscópicas y cuya explicación requiere elevados niveles de abstracción. En el caso particular de la química, conceptos como la estructura atómica, los enlaces químicos y la geometría molecular representan algunos de los contenidos que generan mayores dificultades de aprendizaje. Diversos estudios han señalado que los estudiantes suelen construir modelos mentales incompletos o erróneos cuando los conceptos se presentan únicamente mediante símbolos y representaciones bidimensionales, lo que dificulta la transferencia del conocimiento a nuevas situaciones de aprendizaje *(Johnstone, 1991; Gilbert & Treagust, 2009).* Tradicionalmente estos contenidos se enseñan mediante representaciones bidimensionales presentes en libros de texto o presentaciones digitales. Sin embargo, dichas representaciones resultan insuficientes para estudiantes con estilos de aprendizaje predominantemente visuales, espaciales o kinestésicos, limitando la comprensión de las relaciones tridimensionales que caracterizan a las moléculas.

Desde la perspectiva de Bruner (1997), el aprendizaje transita por diferentes formas de representación del conocimiento: enactiva (acción), icónica (imágenes) y simbólica (lenguaje y modelos abstractos). La

integración de prototipos impresos en 3D permite articular estas formas de representación, ya que los estudiantes no sólo observan las estructuras moleculares, sino que pueden manipularlas y posteriormente relacionarlas con sus representaciones simbólicas, favoreciendo procesos cognitivos de mayor profundidad.

Desde la teoría del aprendizaje multimedia, se ha demostrado que la combinación de información verbal y visual favorece la construcción de representaciones mentales más sólidas y reduce la sobrecarga cognitiva durante el aprendizaje de conceptos complejos *(Mayer, 2021).* A su vez, el desarrollo de tecnologías de fabricación digital, particularmente la impresión 3D, ofrece nuevas oportunidades para transformar la enseñanza mediante la creación de recursos manipulables que favorezcan experiencias de aprendizaje más inmersivas e interactivas. En este contexto, el presente trabajo propone el diseño e implementación de prototipos tridimensionales que faciliten la comprensión de conceptos fundamentales de la química y promuevan metodologías centradas en el estudiante. La UNESCO (2023) reconoce que las tecnologías emergentes, cuando se integran con un propósito pedagógico claro, pueden ampliar las oportunidades de aprendizaje y favorecer la participación de los estudiantes en la construcción de su conocimiento. Desde la perspectiva del aprendizaje significativo, la comprensión de conceptos científicos depende de la capacidad del estudiante para relacionar los nuevos conocimientos con estructuras cognitivas previamente construidas. Cuando los contenidos se presentan únicamente de manera abstracta, sin apoyos que faciliten dichas conexiones, aumenta la probabilidad de que el aprendizaje sea memorístico y de corta duración *(Ausubel, 2002).* En este sentido, los modelos tridimensionales pueden actuar como organizadores visuales y manipulativos que favorecen la construcción de significados al establecer vínculos entre las representaciones teóricas y los fenómenos que describen.

La necesidad de innovar en la enseñanza de la química también se relaciona con el bajo interés que frecuentemente muestran los estudiantes hacia las ciencias. Investigaciones en educación han señalado que muchos alumnos perciben la química como una disciplina abstracta, alejada de su vida cotidiana y basada principalmente en la memorización de fórmulas y procedimientos *(Osborne, Simon & Collins, 2003).* Esta percepción puede afectar la motivación, la autoeficacia académica y la disposición para participar en actividades experimentales. En respuesta a ello, enfoques constructivistas sostienen que el aprendizaje se fortalece cuando los estudiantes interactúan con objetos concretos, exploran relaciones espaciales y participan en actividades colaborativas que les permitan construir significados a partir de la experiencia *(Piaget, 1975; Vygotsky, 1978).* Además del aprendizaje conceptual, la incorporación de modelos tridimensionales puede contribuir al desarrollo de habilidades transversales relevantes para la formación integral de los estudiantes. El trabajo con prototipos impresos en 3D favorece la comunicación de ideas científicas, la resolución conjunta de problemas y la toma de decisiones en equipo, competencias alineadas con las demandas de la educación del siglo XXI *(National Research Council, 2012).* Asimismo, el uso de recursos manipulables puede generar ambientes de aprendizaje más inclusivos al ofrecer múltiples formas de representación y exploración de los contenidos, en concordancia con los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje *(CAST, 2018).* Es así que, el presente proyecto se inserta en las acciones orientadas al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4: Educación de Calidad, al promover estrategias didácticas innovadoras, accesibles y replicables que buscan mejorar la comprensión de fenómenos fisicoquímicos y fortalecer la participación de los estudiantes en su proceso formativo *(ONU, 2015).*

Antecedentes

Durante la última década, la incorporación de tecnologías emergentes en la educación ha permitido desarrollar nuevas estrategias para favorecer el aprendizaje activo. Entre ellas, la impresión 3D ha demostrado un importante potencial para la elaboración de materiales didácticos personalizados, accesibles y de bajo costo. Su implementación en contextos educativos ha crecido de manera significativa debido a la reducción del costo de las impresoras y a la disponibilidad de software de modelado con licencias educativas, lo que facilita que docentes y estudiantes participen en el diseño y fabricación de recursos adaptados a sus necesidades curriculares *(Ford & Minshall, 2019).* Diversas investigaciones han señalado que la manipulación de modelos físicos mejora la visualización espacial, incrementa la motivación y fortalece la comprensión conceptual en disciplinas como la química, la biología y la ingeniería. Particularmente, la representación tridimensional de moléculas facilita la comprensión de conceptos relacionados con la geometría molecular y la formación de enlaces químicos.

Novak (2010) señala que el aprendizaje significativo implica la reorganización progresiva de los conceptos mediante la construcción de modelos explicativos cada vez más complejos. Desde esta perspectiva, los modelos tridimensionales constituyen herramientas cognitivas que permiten representar relaciones

estructurales difíciles de visualizar mediante ilustraciones bidimensionales, facilitando la integración entre los conocimientos previos y los nuevos contenidos científicos.

Los modelos físicos permiten a los estudiantes observar ángulos de enlace, disposiciones espaciales y repulsiones electrónicas de manera más intuitiva que las representaciones planas, favoreciendo la construcción de modelos mentales coherentes *(Wu & Shah, 2004; Gilbert & Treagust, 2009).* Asimismo, enfoques pedagógicos como el aprendizaje activo, el constructivismo y el aprendizaje basado en proyectos destacan la importancia de que los estudiantes interactúen con materiales concretos que les permitan construir explicaciones científicas a partir de la experimentación y la resolución de problemas. Estas perspectivas consideran que el conocimiento no se transmite de forma pasiva, sino que se construye mediante la interacción con el entorno y con otros estudiantes, proceso en el cual los recursos manipulables desempeñan un papel mediador fundamental *(Piaget, 1975; Vygotsky, 1978).* Pese al creciente desarrollo tecnológico, la disponibilidad de materiales tridimensionales adaptados al currículo de educación media superior continúa siendo limitada, por lo que resulta pertinente diseñar recursos contextualizados que respondan a las necesidades específicas de los programas de química. En muchos casos, los modelos comerciales presentan costos elevados o no corresponden a los contenidos y enfoques pedagógicos establecidos en los planes de estudio nacionales, lo que restringe su utilización sistemática en el aula *(Ford & Minshall, 2019).*

En el ámbito específico de la enseñanza de la química, Johnstone (1991) propuso que el aprendizaje de esta disciplina implica la articulación de tres niveles de representación: el macroscópico (fenómenos observables), el submicroscópico (átomos, moléculas e interacciones) y el simbólico (fórmulas, ecuaciones y modelos matemáticos). Las dificultades de aprendizaje surgen, en gran medida, cuando los estudiantes no logran establecer conexiones entre estos niveles. Los modelos tridimensionales impresos en 3D constituyen una herramienta con potencial para mediar entre el nivel submicroscópico y el simbólico, al ofrecer una representación tangible de entidades que normalmente no pueden observarse directamente. De igual manera, estudios recientes han documentado experiencias exitosas de impresión 3D en educación química. Penny et al. (2017) reportaron que la utilización de modelos moleculares impresos favoreció la comprensión de la estereoquímica y mejoró el desempeño de los estudiantes en tareas de visualización espacial. De manera similar, otros estudios encontraron incrementos significativos en la motivación y en la participación estudiantil cuando los alumnos pudieron manipular modelos moleculares diseñados específicamente para las actividades de clase.

Otro aspecto relevante es el potencial de la impresión 3D para promover procesos de co-diseño educativo. Al involucrar a los docentes en la creación de sus propios materiales, se favorece la reflexión pedagógica sobre los contenidos, las dificultades de aprendizaje y las estrategias de evaluación más adecuadas. Este enfoque se alinea con las propuestas de innovación educativa basada en diseño, las cuales sostienen que la mejora de la enseñanza surge de ciclos iterativos de diseño, implementación, evaluación y ajuste de las intervenciones didácticas *(Design-Based Research Collective, 2003).* Finalmente, la generación de recursos educativos abiertos mediante repositorios digitales de archivos 3D y guías didácticas representa una oportunidad para democratizar el acceso a materiales innovadores y facilitar la replicabilidad de las experiencias. La educación abierta promueve la colaboración entre instituciones y docentes, permitiendo adaptar los recursos a diferentes contextos y necesidades estudiantiles, lo que amplía el impacto social y educativo de proyectos de innovación como el aquí propuesto *(UNESCO, 2019).*

Objetivos

Objetivo general:

Diseñar e implementar modelos tridimensionales interactivos impresos en 3D que fortalezcan el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química, favoreciendo la comprensión de la estructura atómica, los enlaces químicos y la geometría molecular en estudiantes de educación media superior.

Objetivos específicos:

Diseñar prototipos tridimensionales mediante el software de modelado FUSION 360 para representar estructuras atómicas, enlaces químicos y geometrías moleculares.

- Integrar los modelos en secuencias didácticas que promuevan el aprendizaje activo.
- Evaluar el impacto de la estrategia sobre la comprensión de los contenidos de química.
- Analizar el efecto de la estrategia en el desarrollo de habilidades socioemocionales.

- Evaluar el fortalecimiento del trabajo colaborativo durante las actividades de aprendizaje.
- Generar recursos educativos abiertos que permitan la replicabilidad del proyecto.

Metodología

La investigación se desarrolla bajo un enfoque de innovación educativa con metodología aplicada y alcance descriptivo-evaluativo. Para su realización, el desarrollo del proyecto se estructuró en cinco etapas principales: diseño pedagógico, diseño de prototipos, fabricación y validación, implementación educativa y sistematización y difusión (Figura 1).



Figura 1. Procedimiento para la Integración de Prototipos 3D en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje de la Química.

Resultados

Como resultado del proyecto se diseñó, fabricó e implementó una colección de prototipos tridimensionales orientados a facilitar la comprensión de contenidos fundamentales de la química correspondientes a la estructura atómica, los orbitales atómicos y los enlaces químicos. Como ya se puntualizó los modelos fueron desarrollados mediante el software de modelado tridimensional FUSION 360 y posteriormente fabricados utilizando una impresora Creality K1, cuyas características de velocidad, precisión y estabilidad permitieron obtener prototipos con la resolución necesaria para representar adecuadamente las estructuras químicas objeto de estudio, Figura 2-4.

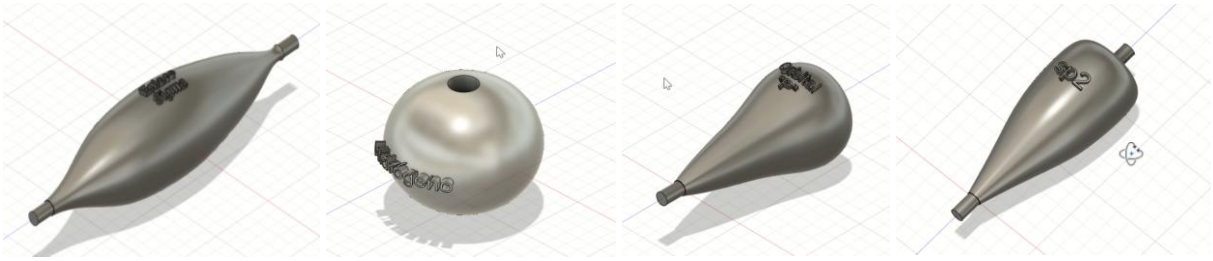


Figura 2. Modelos de orbitales, enlaces y representación de átomos diseñados en FUSION 360.



Figura 3. Modelos Atómicos impresos en 3D (Dalton, Rutherford, Thomson y Bhor).

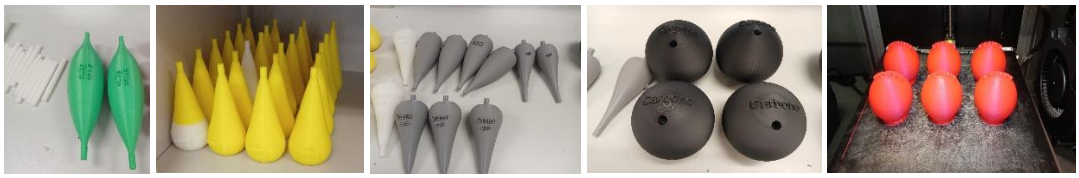


Figura 4. Modelos de hibridación y representación de átomos de elementos químicos impresos en 3D (enlace sigma, orbitales p, orbitales sp3 y sp2, átomos de carbono y átomos de hidrógeno).

La etapa de diseño contempló un proceso iterativo de refinamiento en el que participaron criterios de naturaleza funcional, física y pedagógica. Desde el punto de vista técnico, se realizaron ajustes en las dimensiones, tolerancias y sistemas de ensamblaje de los modelos para garantizar su resistencia, facilidad de manipulación y reutilización en distintos escenarios de aprendizaje. Paralelamente, desde una perspectiva didáctica, se revisó que cada prototipo representara con fidelidad los principios científicos que pretendía ilustrar y que pudiera integrarse de manera coherente a las secuencias didácticas diseñadas para el curso de Química. En esencia se obtuvo un conjunto de recursos didácticos interactivos que permiten representar de manera tangible conceptos tradicionalmente abstractos, favoreciendo la transición entre los niveles de representación, Figura 5. La posibilidad de observar y manipular físicamente configuraciones electrónicas, atómicas y moleculares proporciona a los estudiantes una representación espacial difícil de alcanzar mediante ilustraciones bidimensionales presentes en libros de texto o presentaciones digitales. Es preciso mencionar que la incorporación de los prototipos en las secuencias didácticas permitió desarrollar actividades centradas en el aprendizaje activo y el trabajo colaborativo. A diferencia de estrategias tradicionales basadas exclusivamente en la exposición del docente, las actividades diseñadas promovieron que los estudiantes manipularan los modelos, formularan hipótesis, discutieran las posibles configuraciones electrónicas y justificaran la geometría molecular de distintas sustancias mediante argumentos científicos. Estas experiencias favorecieron procesos de construcción colectiva del conocimiento donde la interacción entre los estudiantes constituye un elemento esencial para el desarrollo cognitivo.

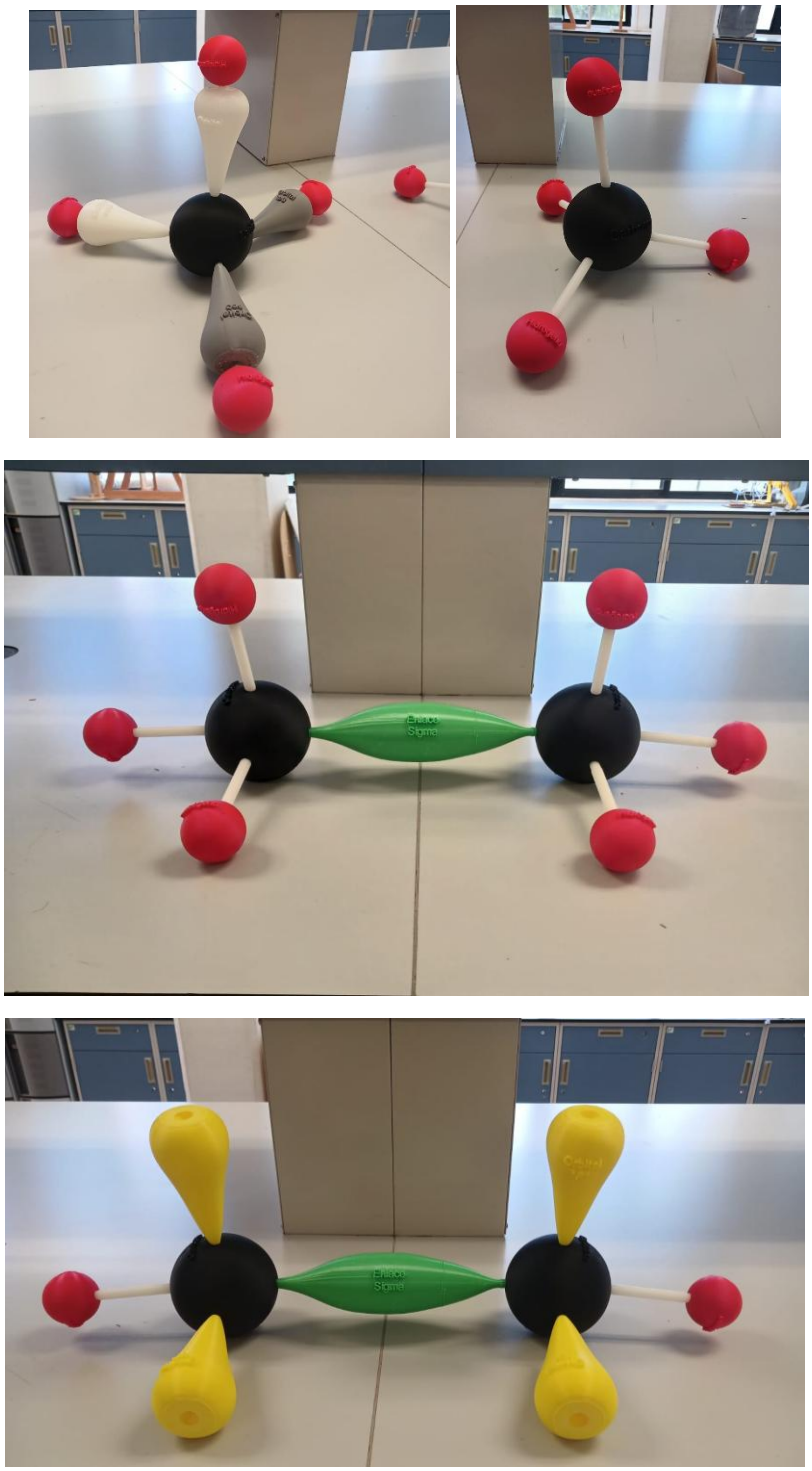


Figura 5. Modelos de moléculas con diferentes tipos de hibridación.

Desde la perspectiva del aprendizaje significativo, los modelos tridimensionales funcionaron como mediadores cognitivos que facilitaron la relación entre los conocimientos previos y los nuevos contenidos. La posibilidad de manipular físicamente las estructuras permitió reducir la carga cognitiva asociada a la interpretación simultánea de múltiples representaciones simbólicas, favoreciendo que los estudiantes

establecieran relaciones conceptuales más estables y profundas. Asimismo, la integración de representaciones visuales y manipulativas favoreció la comprensión progresiva de fenómenos fisicoquímicos de elevada complejidad, Figura 6.

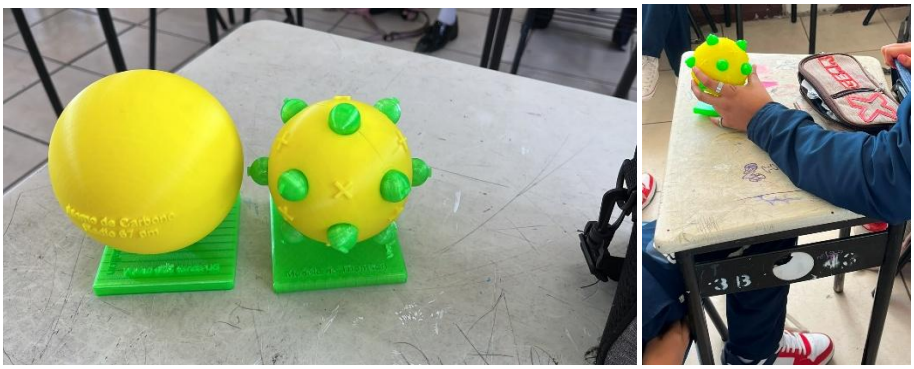


Figura 6. Modelos atómicos interactivos.

La evaluación educativa contempló la aplicación de cuestionarios diagnósticos y finales, actividades de desempeño, observación sistemática del trabajo colaborativo e instrumentos orientados a valorar habilidades socioemocionales. Como parte de la fase diagnóstica, se exploraron los conocimientos previos de los estudiantes acerca de la evolución de la teoría atómica y de los principales modelos propuestos para explicar la estructura de la materia. Para ello, se diseñó un instrumento con preguntas relacionadas con conceptos fundamentales, entre ellos: los personajes que propusieron la existencia de átomos indivisibles, el experimento que condujo al descubrimiento del electrón, las características distintivas del modelo de Rutherford, las aportaciones del modelo de Bohr y la secuencia cronológica de los diferentes modelos atómicos. El análisis de las respuestas mostró que la mayoría de los estudiantes no dominaba estos contenidos, reflejándose en un alto porcentaje de respuestas incorrectas. Estos resultados ponen de manifiesto la existencia de vacíos conceptuales en torno a la evolución histórica de la teoría atómica, tal como se aprecia en la Figura 7.

Pregunta
1. ¿Cuál fue el primer científico en proponer que la materia estaba formada por átomos indivisibles?
2.¿Qué experimento permitió descubrir el electrón?
3.¿Qué característica distingue al modelo de Rutherford?
4.¿Qué explicó el modelo de Bohr?
5.Ordena cronológicamente los modelos: Bohr, Dalton, Rutherford y Thomson.
6.No respondieron ninguna bien.

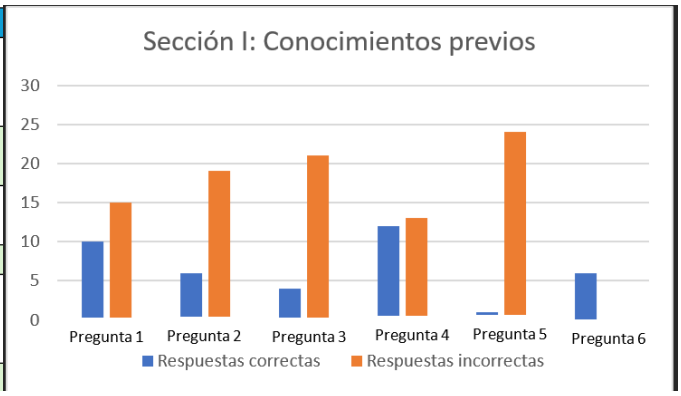


Figura 7. Modelos atómicos interactivos.

Si bien el análisis cuantitativo constituye una fase posterior de la investigación, las observaciones registradas durante la implementación sugieren una mayor participación de los estudiantes en las actividades, un incremento en la interacción entre pares y una mayor disposición para explicar fenómenos químicos utilizando lenguaje científico con apoyo de los modelos tridimensionales. De manera complementaria, los estudiantes expresaron que dichos modelos favorecieron su comprensión de los contenidos al facilitar la visualización de la estructura del átomo y la identificación de las diferencias presentes entre los distintos modelos atómicos. Estas percepciones indican que el uso de representaciones tridimensionales puede contribuir a la construcción de modelos mentales más sólidos sobre conceptos abstractos de la química, Figura 8.

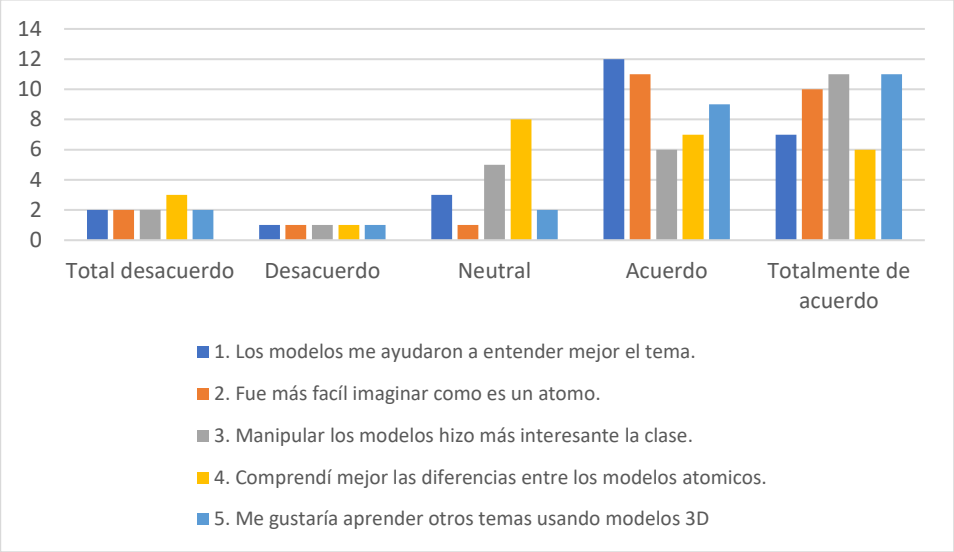


Figura 8. Experiencia con los Modelos 3D.

Asimismo, al solicitar a los estudiantes que respondieran las preguntas: ¿Qué fue lo que más te gustó de la actividad?, ¿Qué modelo atómico recuerdas más y por qué? y ¿Qué mejorarías de esta actividad?, se identificó que la categoría de respuesta predominante estuvo relacionada con la posibilidad de manipular e interactuar con los modelos tridimensionales. Los modelos atómicos de Thomson y Bohr fueron los más mencionados, atribuyéndose esta preferencia a su diseño intuitivo y a las posibilidades de interacción que ofrecían. Como propuesta de mejora, los estudiantes recomendaron emplear una mayor variedad de colores para distinguir los diferentes componentes de los modelos, con el fin de facilitar su identificación y favorecer una comprensión más clara de su estructura. Otro resultado relevante fue la elaboración de un conjunto de secuencias didácticas estructuradas para incorporar los modelos tridimensionales en distintos momentos del proceso de enseñanza-aprendizaje. Estas secuencias incluyen actividades que favorecen una integración sistemática de la tecnología dentro del currículo y evitando que la impresión 3D se limite al uso de recursos demostrativos aislados. Este enfoque responde a las recomendaciones de la UNESCO las cuales enfatizan que la incorporación de tecnologías digitales debe sustentarse en propósitos pedagógicos claramente definidos. Como producto derivado del proyecto también se desarrolló un repositorio digital que integra los archivos tridimensionales en formato STL y las secuencias didácticas necesarias para reproducir los modelos en otras instituciones educativas. La disponibilidad de estos recursos como materiales educativos abiertos favorece la transferencia del conocimiento y amplía el impacto social del proyecto al facilitar su adaptación por otros docentes de química, contribuyendo así a la democratización del acceso a recursos educativos innovadores.

Conclusiones

Los resultados del presente proyecto permiten concluir que la integración de tecnologías de impresión 3D representa una estrategia didáctica pertinente para fortalecer la enseñanza de contenidos altamente abstractos de la química. Más allá de constituir una innovación tecnológica, el diseño y utilización de prototipos tridimensionales adquiere valor educativo cuando se sustenta en principios pedagógicos que favorecen la construcción activa del conocimiento y la interacción significativa entre los estudiantes y los objetos de aprendizaje. Desde la perspectiva del aprendizaje significativo, los prototipos desarrollados facilitaron que los estudiantes establecieran relaciones entre sus conocimientos previos y las nuevas representaciones científicas, reduciendo la fragmentación conceptual que suele presentarse en el estudio de la estructura de la materia. Además, los modelos tridimensionales actuaron como organizadores cognitivos capaces de favorecer procesos de diferenciación progresiva e integración conceptual, permitiendo que los estudiantes construyeran explicaciones más consistentes sobre la naturaleza de los enlaces químicos y la geometría molecular. Asimismo, los resultados muestran que la manipulación física de los modelos favorece la articulación de las representaciones, ofreciendo oportunidades para que los estudiantes transiten de la

observación concreta hacia la interpretación de modelos científicos más complejos. Esta característica resulta especialmente relevante en la enseñanza de la química, disciplina en la que gran parte de los fenómenos ocurre a escalas que no pueden observarse directamente y cuya comprensión depende de la capacidad para construir modelos mentales adecuados.

El proyecto también confirma el potencial de la impresión 3D para contribuir a superar uno de los principales desafíos educativos: la desconexión entre los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico de representación química. Los prototipos permitieron establecer vínculos más claros entre dichos niveles, favoreciendo procesos de visualización espacial y razonamiento científico que difícilmente se alcanzan mediante recursos exclusivamente bidimensionales. Otro aspecto destacable corresponde al fortalecimiento de competencias transversales asociadas al trabajo colaborativo, la comunicación científica y el desarrollo de habilidades socioemocionales. La incorporación de los modelos en actividades grupales promovió espacios de discusión, argumentación y construcción colectiva del conocimiento, en concordancia con los enfoques socioconstructivistas y con las recomendaciones actuales para la formación de competencias STEM orientadas a la resolución de problemas complejos. Desde una perspectiva institucional, el proyecto demuestra que es posible desarrollar recursos didácticos de alta calidad mediante tecnologías de fabricación digital disponibles en los propios centros educativos, reduciendo la dependencia de materiales comerciales y favoreciendo la creación de recursos contextualizados conforme a las necesidades curriculares. La generación de un repositorio abierto con archivos imprimibles, secuencias didácticas y guías metodológicas amplía significativamente el alcance de la propuesta al facilitar su adopción por otros docentes e instituciones, promoviendo procesos de innovación educativa sostenibles y colaborativos. Finalmente, el presente trabajo aporta evidencia sobre la viabilidad de integrar procesos de diseño digital, fabricación aditiva y didáctica de las ciencias en una estrategia de innovación educativa que articula tecnología, pedagogía y currículo. Su contribución trasciende la elaboración de modelos físicos, al proponer una metodología replicable para el desarrollo de recursos educativos abiertos orientados a mejorar la calidad de la enseñanza de la química. En este sentido, la investigación constituye una aportación al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (Educación de Calidad), al promover prácticas docentes innovadoras que favorecen aprendizajes más significativos, inclusivos y centrados en el estudiante.

Referencias

Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Paidós.

Bruner, J. (1997). *La educación, puerta de la cultura*. Visor.

CAST. (2018). Universal Design for Learning Guidelines version 2.2. https://udlguidelines.cast.org

Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.

Ford, S., & Minshall, T. (2019). "Invited Review Article: Where and how 3D printing is used in teaching and education." *Additive Manufacturing*, 25, 131-150.

Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). *Multiple Representations in Chemical Education*. Springer.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83.

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia Learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.

National Research Council. (2012). A Framework for K–12 Science Education. National Academies Press.

Novak, J. D. (2010). *Learning, Creating, and Using Knowledge*. Routledge.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. https://sdgs.un.org/2030agenda

Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079.

Penny, M. R., Cao, Z. J., Patel, B., Sil dos Santos, B., Asquith, C. R. M., Szulc, B. R., & Hilton, S. T. (2017). Three-dimensional printing of a scalable molecular model and orbital kit for organic chemistry teaching and learning. *Journal of Chemical Education*, 94(9), 1265–1271.

Piaget, J. (1975). *La equilibración de las estructuras cognitivas*. Siglo XXI.

UNESCO. (2019). Recommendation on Open Educational Resources (OER). https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-open-educational-resources-oer

UNESCO. (2023). Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education. https://www.unesco.org/gem-report/en/technology

Vygotsky, L. S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press.

Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492.