



CHEMICAL-3D COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA:

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA
COMPREENSIÓN DE LA TABLA PERIÓDICA EN
EDUCACIÓN SECUNDARIA

COLECTIVO DE AUTORES

PRIMERA EDICIÓN

CHEMICAL-3D COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA:

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA
COMPRESIÓN DE LA TABLA PERIÓDICA EN
EDUCACIÓN SECUNDARIA

H																			He
Li	Be										B	C	N	O	F			Ne	
Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl			Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts		Og	
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

CHEMICAL-3D COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA: INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA COMPRENSIÓN DE LA TABLA PERIÓDICA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

©Rosa Ximena Montalvo Murillo
©Viviana de los Ángeles Carlosama Sánchez
©Carmen Rocío Carlosama Sánchez
©Adriana Vanessa Chicaiza Hermosa
©Susana Georgina Inuca Chicaiza
©Luis Fernando Perugachi Arias
©Esthela Beatriz Sanipatín Ibadango
©Javier Armando Vega Tulcanazo
©Tatiana Maribel Jaramillo Valarezo
©María Elena Limaico Pillajo
©Stefanny María Sanipatín Jaramillo
©Jesús Gabriel Amaguaña Vega

Casa Editorial Sin Fronteras CESFRO SAS.
75 pág. / Formato A5
Cuenca - Ecuador

Primera Edición Digital
Publicado el 26 de Diciembre de 2025

ISBN: 978-9942-7490-0-0
DOI: <http://doi.org/zenodo.18064383>

ISO 2021: Camino a la Innovación Educativa

Autores:

Rosa Ximena Montalvo Murillo
Viviana de los Ángeles Carlosama Sánchez
Carmen Rocío Carlosama Sánchez
Adriana Vanessa Chicaiza Hermosa
Susana Georgina Inuca Chicaiza
Luis Fernando Perugachi Arias
Esthela Beatriz Sanipatín Ibadango
Javier Armando Vega Tulcanazo
Tatiana Maribel Jaramillo Valarezo
María Elena Limaico Pillajo
Stefanny María Sanipatín Jaramillo
Jesús Gabriel Amaguaña Vega

Dra. Jackeline Pazmay Galarza
Director General

Mgtr. Nicolás Isea Araque
Jefe Editor

Tec. Winston Morán Párraga
Diagramación y Diseño

Mgtr. Yusmary Mora de Isea
Revisión de estilo

Primera edición Septiembre de 2025 - Publicación digital

Casa Editorial Sin Fronteras CESFRO S.A.S.
Correo: editorial@cesfro.org
Cuenca-Ecuador

**Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	v
PRÓLOGO	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EDUCACIÓN CIENTÍFICA EN EL SIGLO XXI. 3	
Importancia de la enseñanza de la Química en educación secundaria.....	4
Dificultades recurrentes en la comprensión de la tabla periódica	6
Desafíos cognitivos y pedagógicos en el aprendizaje de conceptos químicos	8
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA	10
Enfoques constructivistas y aprendizaje significativo.....	11
Visualización científica y comprensión conceptual.....	12
Competencias científicas y pensamiento abstracto en adolescentes.....	14
CAPÍTULO III: LA TABLA PERIÓDICA COMO EJE ESTRUCTURANTE DE LA QUÍMICA.....	17
Evolución histórica y científica de la tabla periódica	18
Organización, propiedades periódicas y relaciones químicas	19
Limitaciones de los modelos tradicionales de enseñanza ...	21
CAPÍTULO IV: TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS APLICADAS A LAS CIENCIAS	23
TIC, TAC y TEP en la enseñanza de la Química	24
Recursos digitales interactivos en educación secundaria ...	25
Realidad aumentada, modelado 3D y simulación científica	27
CAPÍTULO V:.....	29

CHEMICAL-3D: FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y TECNOLÓGICOS.....	29
Origen y propósito educativo de Chemical-3D.....	30
Principios de modelado tridimensional aplicados a la química	31
Componentes, interfaz y funcionalidades de la herramienta	33
CAPÍTULO VI. CHEMICAL-3D COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA	
Representación tridimensional de elementos y estructuras atómicas.....	36
Interactividad y exploración de propiedades periódicas.....	37
Vinculación entre teoría química y visualización 3D	39
CAPÍTULO VII: ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS PARA EL USO DE CHEMICAL-3D	
Integración curricular en educación secundaria.....	42
Actividades didácticas basadas en exploración y descubrimiento.....	43
Rol del docente y del estudiante en entornos digitales	44
CAPÍTULO VIII: IMPACTO PEDAGÓGICO DE CHEMICAL-3D EN EL APRENDIZAJE.....	
Comprensión conceptual y reducción de la abstracción	48
Motivación, participación y aprendizaje activo.....	49
Desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas	51
CAPÍTULO IX: EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE MEDIADO POR CHEMICAL-3D.....	
Evaluación formativa y sumativa en entornos digitales.....	54
Indicadores de desempeño y comprensión química	55
Retroalimentación y mejora continua del aprendizaje	57

CAPÍTULO X: EXPERIENCIAS Y PROYECCIONES	
FUTURAS	59
Buenas prácticas en la enseñanza de la tabla periódica con Chemical-3D	60
Limitaciones, retos y consideraciones éticas.....	61
Proyecciones del uso de tecnologías 3D en la educación científica	62
CONCLUSIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

PRÓLOGO

La enseñanza de la química en la educación secundaria continúa siendo un desafío debido al carácter abstracto de muchos de sus conceptos y al predominio de metodologías tradicionales que limitan la comprensión profunda del conocimiento científico. En este contexto, la innovación pedagógica se convierte en una necesidad orientada a mejorar la calidad del aprendizaje y a responder a las demandas formativas del siglo XXI. Este libro presenta una propuesta fundamentada para la integración de Chemical-3D como herramienta didáctica en la enseñanza de la tabla periódica y de conceptos esenciales de la química. A lo largo de sus capítulos, se articula un enfoque pedagógico que vincula la visualización tridimensional, el aprendizaje activo y la educación científica contemporánea, destacando que la tecnología adquiere valor educativo cuando se integra de manera crítica y coherente al currículo. La obra ofrece una visión integral que aborda fundamentos teóricos, estrategias metodológicas, procesos de evaluación y proyecciones futuras, consolidándose como un recurso de referencia para docentes, formadores e investigadores. Asimismo, se enfatiza una postura ética y reflexiva frente al uso de tecnologías educativas, promoviendo una enseñanza de la química más comprensible, significativa y alineada con los retos actuales de la educación científica.

Tec. Winston Morán Párraga

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la química en la educación secundaria constituye uno de los principales desafíos de la educación científica contemporánea, debido al alto nivel de abstracción conceptual que caracteriza a esta disciplina y a las dificultades recurrentes que enfrentan los estudiantes para comprender fenómenos que no son directamente observables. Conceptos como la estructura atómica, la organización de la tabla periódica y las propiedades químicas requieren procesos cognitivos complejos que, en muchos casos, no logran consolidarse mediante metodologías tradicionales centradas en la memorización y la representación bidimensional del conocimiento. En este contexto, se hace imprescindible repensar las estrategias pedagógicas y los recursos didácticos utilizados en el aula de química.

El avance acelerado de las tecnologías digitales ha abierto nuevas posibilidades para transformar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, permitiendo el acceso a entornos interactivos, visuales y dinámicos que favorecen una comprensión más profunda y significativa de los contenidos científicos. En particular, las tecnologías de visualización tridimensional y el modelado 3D se presentan como herramientas con un alto potencial pedagógico para reducir la abstracción, facilitar la construcción de modelos mentales y promover el aprendizaje activo. Estas tecnologías permiten representar estructuras atómicas y relaciones químicas de manera más cercana a los modelos científicos actuales, fortaleciendo la conexión entre teoría y representación.

En este marco, el presente libro tiene como propósito analizar y fundamentar el uso de Chemical-3D como herramienta didáctica para la enseñanza de la tabla periódica y de conceptos fundamentales de la química en educación secundaria. A lo largo de sus capítulos, se abordan los fundamentos teóricos del aprendizaje de la química, el papel de la visualización científica, la integración de tecnologías educativas y el impacto pedagógico del uso de entornos tridimensionales en la comprensión conceptual, la motivación y el desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas. Asimismo, se proponen estrategias metodológicas, criterios de evaluación y

reflexiones éticas orientadas a una implementación pedagógica responsable y contextualizada.

Este libro se proyecta como un aporte académico y didáctico para docentes, investigadores y estudiantes de formación docente interesados en innovar la enseñanza de la química desde una perspectiva pedagógica sólida y acorde con las demandas educativas del siglo XXI. La integración crítica de herramientas como Chemical-3D no solo busca mejorar el aprendizaje de contenidos específicos, sino también contribuir a la formación de estudiantes con pensamiento científico, competencias digitales y una comprensión más profunda de la naturaleza de la química como ciencia.



CAPÍTULO I

EDUCACIÓN CIENTÍFICA EN EL SIGLO XXI



Importancia de la enseñanza de la Química en educación secundaria

La enseñanza de la Química en la educación secundaria constituye un componente esencial de la alfabetización científica contemporánea, ya que permite a los estudiantes interpretar fenómenos naturales, tecnológicos y sociales mediante explicaciones fundamentadas en evidencia científica. Esta disciplina favorece la comprensión de procesos cotidianos vinculados con la materia, la energía y las transformaciones químicas, promoviendo el desarrollo del pensamiento crítico, analítico y argumentativo. Desde los enfoques actuales de educación científica, la química escolar no se limita a la transmisión de contenidos conceptuales, sino que busca formar ciudadanos capaces de utilizar el conocimiento químico para comprender problemáticas reales y tomar decisiones informadas. En este sentido, la alfabetización científica implica no solo conocer conceptos, sino también comprender, evaluar y comunicar explicaciones químicas con rigor. Diversos estudios señalan que el aprendizaje significativo de la química en secundaria fortalece la formación ciudadana responsable y la comprensión del mundo contemporáneo (Georgiou y Kyza, 2023).

La Química escolar desempeña un papel clave en la comprensión de problemáticas globales relacionadas con la salud, el ambiente y la sostenibilidad, aspectos cada vez más relevantes en los currículos de educación secundaria. Su enseñanza permite interpretar riesgos asociados al uso de sustancias químicas, analizar el impacto ambiental de procesos industriales y comprender principios básicos de la química verde. La incorporación de contextos reales y culturalmente relevantes en la enseñanza de la química favorece la motivación y el compromiso cognitivo del estudiantado. Investigaciones recientes evidencian que la contextualización de los contenidos químicos mejora los niveles de alfabetización científica y facilita la transferencia del conocimiento a situaciones nuevas. Este enfoque resulta particularmente pertinente en contextos educativos latinoamericanos, donde se busca una educación científica vinculada con el desarrollo sostenible. En consecuencia, la química se consolida como una disciplina estratégica para la formación integral del estudiante (Mashami et al., 2025).

La educación secundaria constituye una etapa decisiva para la construcción de identidades científicas y vocaciones académicas en áreas STEM, en las cuales la Química desempeña un rol determinante. Sin embargo, cuando su enseñanza se basa en metodologías tradicionales centradas en la memorización de fórmulas y definiciones, suele generar desinterés, ansiedad académica y rechazo hacia la disciplina. Por el contrario, las experiencias de aprendizaje activo y significativo favorecen la autoconfianza y la persistencia escolar. La química presenta un alto nivel de abstracción conceptual, lo que exige mediaciones didácticas que faciliten la comprensión de procesos submicroscópicos. La ausencia de estas mediaciones conduce a aprendizajes superficiales y fragmentados, afectando la retención a largo plazo. La literatura destaca la necesidad de integrar modelos, visualizaciones y recursos tecnológicos para fortalecer la comprensión conceptual en química (Ripsam et al., 2024).

La enseñanza de la Química también cumple una función social fundamental al capacitar a los estudiantes para interpretar críticamente la información científica que circula en los medios de comunicación. Noticias sobre medicamentos, productos de consumo, etiquetas químicas y publicidad requieren conocimientos básicos de química para ser evaluadas adecuadamente. Sin esta formación, los estudiantes se vuelven vulnerables a la desinformación y a interpretaciones erróneas. El dominio del lenguaje químico resulta clave para esta lectura crítica, ya que permite diferenciar conceptos cercanos pero no equivalentes. En química, errores terminológicos como confundir átomo, elemento o sustancia afectan profundamente la comprensión conceptual. Por ello, la enseñanza de la química implica también un proceso de alfabetización lingüística científica. Investigaciones recientes destacan la importancia de diseñar tareas escolares con objetivos conceptuales explícitos que promuevan dicha alfabetización (Wan et al., 2024).

Finalmente, la Química constituye una base conceptual indispensable para el aprendizaje posterior de otras ciencias naturales como la biología, la física y la tecnología. Muchos contenidos avanzados dependen de una comprensión sólida de estructura atómica, enlace químico y periodicidad. Una formación deficiente en secundaria genera dificultades acumulativas que afectan el desempeño académico futuro. Revisiones sistemáticas reportan una alta incidencia de concepciones alternativas en temas estructurales de

la química escolar, las cuales se originan en etapas tempranas del aprendizaje. La tabla periódica ocupa un rol central en estos procesos, ya que articula múltiples conceptos fundamentales. Por ello, la enseñanza de la química debe priorizar la comprensión profunda, el diagnóstico temprano de errores y el cambio conceptual, garantizando una base sólida para el currículo científico (Suparman et al., 2024).

Dificultades recurrentes en la comprensión de la tabla periódica

La tabla periódica es uno de los contenidos más emblemáticos de la química escolar, pero también uno de los más problemáticos en términos de comprensión conceptual. Frecuentemente se enseña como un recurso destinado a la memorización de símbolos y datos aislados, lo que limita su potencial explicativo y predictivo. Muchos estudiantes aprenden la ubicación de los elementos sin comprender las relaciones que sustentan la periodicidad química. Las dificultades se evidencian cuando deben inferir propiedades o explicar comportamientos químicos a partir de la posición de un elemento. Comprender la tabla periódica requiere articular estructura electrónica y propiedades químicas, una conexión que suele omitirse en la enseñanza tradicional. Investigaciones reportan la persistencia de concepciones alternativas sobre la función y el significado de la tabla periódica, las cuales obstaculizan aprendizajes posteriores (Chowdhury, 2022).

Una dificultad recurrente es el uso de la tabla periódica exclusivamente como herramienta de consulta, restringida a la búsqueda de símbolos, números atómicos o masas relativas. En muchos contextos escolares, los estudiantes no son orientados a utilizarla como un instrumento para explicar tendencias y relaciones químicas. Las propiedades periódicas suelen enseñarse de manera fragmentada, sin establecer conexiones entre ellas. La lectura de tendencias exige razonamiento relacional y comprensión de patrones, habilidades que no siempre se desarrollan explícitamente. En ausencia de mediación docente, los estudiantes generalizan reglas incorrectas y construyen explicaciones superficiales. Estudios señalan que la tabla periódica puede favorecer el cambio conceptual cuando se

integra en actividades comparativas y justificativas bien diseñadas (Mhlongo y Sedumedi, 2023).

La naturaleza altamente simbólica de la tabla periódica representa otro desafío significativo para los estudiantes de secundaria. Esta representación condensa información compleja en un formato bidimensional que requiere alfabetización gráfica específica. Sin dicha alfabetización, los colores, bloques y notaciones se perciben como elementos arbitrarios, sin significado conceptual. Además, la interpretación de tendencias periódicas demanda habilidades espaciales y de visualización que no siempre son promovidas en el aula. La falta de modelos dinámicos agrava esta dificultad, especialmente en estudiantes con bajo desarrollo de habilidades visuoespaciales. Diversos estudios sugieren que las herramientas digitales y las representaciones tridimensionales pueden apoyar la comprensión relacional de la tabla periódica cuando se integran con orientación didáctica adecuada (Coduto et al., 2023).

Persisten también errores conceptuales relacionados con el número atómico, la masa atómica y la clasificación de los elementos. Muchos estudiantes confunden isótopos e isóbaros o creen que el valor numérico de la masa determina la reactividad química. Estas ideas erróneas suelen originarse en explicaciones simplificadas o en la ausencia de razonamiento causal. La literatura señala que estas concepciones alternativas tienden a ser estables y resistentes al cambio si no se confrontan explícitamente. Por ello, se recomienda implementar diagnósticos tempranos que permitan identificar y abordar estas dificultades. En el caso de la tabla periódica, el énfasis debe ponerse en explicar por qué cambian las propiedades, vinculándolas con la estructura electrónica (Suparman et al., 2024).

Finalmente, diversas experiencias pedagógicas han incorporado actividades lúdicas y recreativas para facilitar el aprendizaje de la tabla periódica. Estas estrategias han mostrado potencial para incrementar la motivación y la participación estudiantil, permitiendo una interacción más significativa con la representación periódica. No obstante, su efectividad depende de la existencia de guías estructuradas que orienten la reflexión conceptual. Cuando las actividades lúdicas se utilizan sin mediación, corren el riesgo de trivializar el contenido. La evidencia indica que el uso funcional de la tabla periódica mejora cuando se plantean situaciones

problemáticas que requieren inferencia y explicación. De este modo, la tabla deja de ser un objeto de memorización y se convierte en una herramienta cognitiva para el razonamiento químico (Valdiviezo et al., 2023).

Desafíos cognitivos y pedagógicos en el aprendizaje de conceptos químicos

El aprendizaje de la Química implica una elevada demanda cognitiva debido a la necesidad de coordinar múltiples niveles de representación, incluyendo lo macroscópico, lo submicroscópico y lo simbólico. Esta coordinación requiere un uso intensivo de la memoria de trabajo y un adecuado manejo de la carga cognitiva. Cuando la información se presenta de manera fragmentada o sin apoyos visuales, se incrementa la carga extrínseca y se dificulta la comprensión. En química, el nivel submicroscópico representa uno de los principales obstáculos para los estudiantes de secundaria. Por ello, se proponen mediaciones didácticas que faciliten la visualización de procesos invisibles. La literatura destaca que un diseño pedagógico adecuado puede articular eficazmente los aspectos cognitivos y didácticos del aprendizaje químico (Ripsam et al., 2024).

Uno de los desafíos más persistentes en la enseñanza de la química es la presencia de concepciones alternativas profundamente arraigadas en los estudiantes. Estas concepciones se originan en intuiciones cotidianas, en el lenguaje común y en prácticas de enseñanza simplificadas. En muchos casos, permiten responder correctamente a evaluaciones tradicionales sin comprender los fundamentos conceptuales. Revisiones sistemáticas han identificado núcleos conceptuales críticos en los que estas concepciones son especialmente frecuentes, como el enlace químico, el equilibrio y la clasificación de la materia. El cambio conceptual requiere estrategias específicas que generen conflicto cognitivo y promuevan la reconstrucción del conocimiento. Sin este proceso, los errores conceptuales se mantienen y afectan aprendizajes posteriores (Suparman et al., 2024).

La visualización espacial constituye otro desafío relevante en el aprendizaje de conceptos químicos, ya que muchas estructuras y procesos no pueden observarse directamente. La comprensión de

geometrías moleculares, configuraciones electrónicas y tendencias periódicas exige imaginar configuraciones tridimensionales complejas. Los estudiantes con baja habilidad espacial suelen presentar mayores dificultades en estos contenidos. En respuesta, se han propuesto recursos tridimensionales y tecnologías de realidad aumentada como apoyos didácticos. Sin embargo, la investigación subraya que la tecnología debe integrarse con preguntas orientadoras y secuencias progresivas. De lo contrario, la visualización pierde valor pedagógico y se convierte en un recurso superficial (Yamtinah et al., 2023).

La carga cognitiva en química escolar varía en función del contenido, la metodología y el nivel educativo. Estudios recientes evidencian que ciertos temas, como la tabla periódica y el enlace químico, presentan una alta densidad simbólica que incrementa la carga cognitiva percibida por los estudiantes. Cuando esta carga supera la capacidad del alumno, se reduce la comprensión y se recurre a la memorización mecánica. Para mitigar este efecto, se recomienda segmentar la información, utilizar andamiajes y proporcionar retroalimentación inmediata. Alternar explicaciones breves con prácticas guiadas permite reducir la carga extrínseca y favorecer el aprendizaje germano. De este modo, la exigencia cognitiva se vuelve productiva y sostenible (Irwanto, 2025).

La evaluación representa un desafío pedagógico central en la enseñanza de la química. Cuando los sistemas de evaluación priorizan el cálculo algorítmico, los estudiantes tienden a centrarse en procedimientos mecánicos, relegando la comprensión conceptual. Una evaluación coherente con los objetivos de aprendizaje debe exigir explicación, justificación y conexión entre representaciones. En el caso de la tabla periódica, esto implica evaluar la capacidad de inferir propiedades a partir de la estructura electrónica y de explicar tendencias periódicas. La literatura sobre alfabetización científica destaca que la evaluación orienta la forma en que los estudiantes aprenden y estudian. Por ello, la innovación tecnológica en química debe acompañarse de una innovación evaluativa que promueva el razonamiento científico profundo (Wan et al., 2024).



CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA



Enfoques constructivistas y aprendizaje significativo

El enfoque constructivista concibe el aprendizaje como un proceso activo de construcción del conocimiento, en el cual el estudiante integra nueva información a partir de sus saberes previos, experiencias y contextos socioculturales. En la enseñanza de la Química en educación secundaria, este enfoque resulta especialmente relevante debido al carácter abstracto de muchos de sus conceptos fundamentales. El aprendizaje significativo, propuesto originalmente por Ausubel, se produce cuando los nuevos contenidos se relacionan de manera sustantiva y no arbitraria con la estructura cognitiva del estudiante. En este marco, la función del docente no es transmitir información de forma mecánica, sino diseñar situaciones didácticas que favorezcan la comprensión profunda. Investigaciones recientes destacan que el enfoque constructivista mejora la retención conceptual y la transferencia del conocimiento en ciencias naturales, particularmente cuando se promueve la participación activa del estudiante (Núñez et al., 2021).

En la educación química, el constructivismo enfatiza la importancia de reconocer y abordar las concepciones previas que los estudiantes poseen antes de la instrucción formal. Estas concepciones, muchas veces alternativas o erróneas desde el punto de vista científico, influyen de manera decisiva en la forma en que se interpretan los nuevos contenidos. El aprendizaje significativo no implica la simple sustitución de ideas previas, sino su reorganización progresiva mediante procesos de diferenciación y reconciliación integradora. Estudios en didáctica de la química señalan que cuando el docente ignora estas concepciones, el aprendizaje tiende a ser memorístico y frágil. Por el contrario, estrategias basadas en el conflicto cognitivo favorecen la reconstrucción conceptual. De este modo, el enfoque constructivista se posiciona como una base teórica sólida para la enseñanza de la química en secundaria (Taber, 2020).

El aprendizaje significativo en química requiere la utilización de organizadores previos, analogías y modelos que faciliten la comprensión de conceptos complejos. La tabla periódica, por ejemplo, puede funcionar como un organizador conceptual que articula múltiples contenidos si se presenta de manera relacional. Desde el constructivismo, los recursos didácticos deben permitir al estudiante establecer conexiones entre estructura, propiedades y

comportamiento químico. Investigaciones recientes evidencian que las estrategias de enseñanza basadas en problemas y en indagación guiada potencian el aprendizaje significativo en ciencias. Estas metodologías promueven la reflexión, la argumentación y la construcción colectiva del conocimiento. En consecuencia, el enfoque constructivista favorece una comprensión más profunda y duradera de los contenidos químicos (Sang et al., 2022).

Asimismo, el constructivismo reconoce el carácter social del aprendizaje, destacando la importancia de la interacción entre pares y del lenguaje en la construcción del conocimiento. En el aula de química, la discusión, el trabajo colaborativo y la explicación oral de conceptos permiten explicitar el razonamiento del estudiante. Este proceso favorece la metacognición y la regulación del propio aprendizaje. Estudios recientes señalan que el diálogo científico guiado contribuye a clarificar conceptos abstractos y a reducir concepciones alternativas persistentes. Además, la interacción social facilita la apropiación del lenguaje científico propio de la química. De esta manera, el enfoque constructivista integra dimensiones cognitivas y sociales del aprendizaje (Mercer et al., 2020).

Finalmente, la adopción de enfoques constructivistas en la enseñanza de la química implica un cambio en la evaluación del aprendizaje. Desde esta perspectiva, la evaluación debe centrarse en la comprensión conceptual y en la capacidad de aplicar el conocimiento en contextos diversos. Las evaluaciones formativas, basadas en la retroalimentación continua, resultan coherentes con el aprendizaje significativo. Diversos estudios destacan que cuando la evaluación se alinea con enfoques constructivistas, los estudiantes desarrollan aprendizajes más profundos y menos dependientes de la memorización. En educación secundaria, esta coherencia entre teoría, metodología y evaluación es fundamental para mejorar los resultados en química. Así, el constructivismo se consolida como un marco teórico clave para la innovación educativa en esta disciplina (Prieto et al., 2023).

Visualización científica y comprensión conceptual

La visualización científica constituye un componente esencial en la enseñanza y el aprendizaje de la Química, debido a la naturaleza

abstracta de muchos de sus conceptos fundamentales. Procesos como la estructura atómica, el enlace químico y la periodicidad no pueden observarse directamente, lo que dificulta su comprensión por parte de los estudiantes. La visualización permite representar estos fenómenos mediante modelos gráficos, esquemas y simulaciones que facilitan la construcción de representaciones mentales. Investigaciones recientes señalan que la visualización científica mejora la comprensión conceptual cuando se integra de manera coherente en el proceso de enseñanza. En educación secundaria, su uso resulta particularmente relevante para reducir la distancia entre lo observable y lo teórico (Gilbert, 2021).

En el ámbito de la didáctica de la química, se reconoce la existencia de múltiples niveles de representación, incluyendo el nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico. La dificultad para coordinar estos niveles constituye una de las principales barreras para el aprendizaje conceptual. La visualización científica actúa como un puente que permite articular dichas representaciones. Estudios empíricos evidencian que los estudiantes que utilizan recursos visuales bien diseñados logran establecer relaciones más claras entre estructura y propiedades químicas. Sin embargo, la eficacia de la visualización depende de su alineación con los objetivos de aprendizaje. Por ello, no se trata solo de mostrar imágenes, sino de promover la interpretación activa de las representaciones (Stieff et al., 2020).

El uso de modelos tridimensionales y simulaciones interactivas ha cobrado especial relevancia en los últimos años, impulsado por el avance de las tecnologías digitales. Estas herramientas permiten manipular estructuras y observar cambios dinámicos, favoreciendo una comprensión más profunda de los conceptos. En educación química, la visualización 3D ha demostrado ser especialmente útil para comprender geometrías moleculares y tendencias periódicas. No obstante, la literatura advierte que la visualización debe acompañarse de orientación didáctica para evitar interpretaciones erróneas. Cuando se integra con preguntas guiadas y actividades reflexivas, la visualización potencia el razonamiento químico (Rau, 2022).

La visualización científica también contribuye al desarrollo de habilidades cognitivas superiores, como la inferencia, la comparación

y la generalización. Al analizar representaciones visuales, los estudiantes aprenden a identificar patrones y a formular explicaciones causales. En la tabla periódica, por ejemplo, la visualización de tendencias permite inferir propiedades de elementos desconocidos. Estudios recientes indican que este tipo de actividades favorece el aprendizaje significativo y reduce la dependencia de la memorización. Además, la visualización promueve la motivación y el interés por la química, aspectos clave en la educación secundaria. De este modo, se convierte en una herramienta pedagógica de alto valor (Santos & Greca, 2021).

La integración de la visualización científica en la enseñanza de la química exige una reflexión pedagógica sobre su uso. No todas las visualizaciones tienen el mismo impacto en el aprendizaje, y algunas pueden incluso generar confusión si no están bien diseñadas. La investigación educativa destaca la importancia de seleccionar representaciones coherentes, progresivas y conceptualmente claras. Asimismo, se enfatiza el rol del docente como mediador entre la visualización y la comprensión conceptual. En este sentido, la visualización científica no sustituye la enseñanza, sino que la complementa y potencia. Su uso adecuado contribuye significativamente a mejorar la comprensión conceptual en química (Eilam y Gilbert, 2023).

Competencias científicas y pensamiento abstracto en adolescentes

El desarrollo de competencias científicas constituye uno de los objetivos centrales de la educación secundaria, especialmente en el área de las ciencias naturales. Estas competencias incluyen la capacidad de formular preguntas, interpretar datos, explicar fenómenos y argumentar a partir de evidencia. En la enseñanza de la Química, dichas competencias se relacionan estrechamente con el desarrollo del pensamiento abstracto. Los adolescentes se encuentran en una etapa cognitiva en la que comienzan a consolidar habilidades de razonamiento formal, aunque este proceso no es uniforme. Por ello, la enseñanza de conceptos químicos debe considerar las características cognitivas propias de esta etapa del desarrollo (Zimmerman, 2020).

El pensamiento abstracto permite a los estudiantes operar con conceptos que no tienen una correspondencia directa con la experiencia sensorial inmediata. En química, esto incluye entidades como átomos, electrones y enlaces químicos. Diversos estudios señalan que muchos estudiantes de secundaria presentan dificultades para operar con este tipo de conceptos. Estas dificultades se manifiestan en la comprensión de modelos, símbolos y relaciones teóricas. La enseñanza que no considera estas limitaciones cognitivas puede generar frustración y rechazo hacia la disciplina. En contraste, enfoques que gradúan la abstracción y utilizan apoyos visuales facilitan el desarrollo progresivo del pensamiento abstracto (Kozma y Russell, 2021).

Las competencias científicas también implican el uso del lenguaje especializado de la disciplina, lo cual representa un desafío adicional para los adolescentes. La química posee un vocabulario técnico y simbólico que requiere un proceso de apropiación gradual. La investigación educativa destaca que el dominio del lenguaje científico está estrechamente vinculado con la comprensión conceptual. Cuando los estudiantes aprenden a usar correctamente términos y símbolos, mejoran su capacidad de razonar y explicar fenómenos. En este sentido, el desarrollo de competencias científicas no puede separarse del desarrollo del pensamiento abstracto. Ambos procesos se potencian mutuamente en la enseñanza de la química (Yore et al., 2020).

El trabajo con competencias científicas en química también favorece la transferencia del conocimiento a situaciones nuevas y la resolución de problemas. Al desarrollar habilidades de análisis y razonamiento, los estudiantes pueden aplicar conceptos abstractos a contextos diversos. Esto resulta especialmente relevante en contenidos como la tabla periódica, donde se espera que el estudiante infiera propiedades y comportamientos químicos. Estudios recientes indican que las tareas que promueven la argumentación y la explicación fortalecen el pensamiento abstracto. Además, estas tareas incrementan la autonomía cognitiva del estudiante. De este modo, la enseñanza por competencias contribuye a un aprendizaje más profundo y funcional (Osborne, 2021).

Finalmente, el desarrollo de competencias científicas y del pensamiento abstracto requiere coherencia entre currículo,

metodología y evaluación. En educación secundaria, es fundamental que las actividades de aula, los recursos didácticos y las evaluaciones estén alineados con estos objetivos. La evaluación debe valorar no solo el resultado final, sino también el proceso de razonamiento del estudiante. Investigaciones recientes señalan que cuando se evalúan competencias científicas, los estudiantes muestran una comprensión más sólida y transferible. En el contexto de la enseñanza de la química, esta orientación favorece la formación de estudiantes críticos, reflexivos y preparados para enfrentar desafíos científicos futuros (OECD, 2023).



CAPÍTULO III

LA TABLA PERIÓDICA COMO EJE ESTRUCTURANTE DE LA QUÍMICA



Evolución histórica y científica de la tabla periódica

La tabla periódica constituye uno de los logros más significativos en la historia de la ciencia química, al representar de manera sistemática la organización de los elementos conocidos y sus propiedades. Su desarrollo no fue un acontecimiento aislado, sino el resultado de un proceso histórico y científico acumulativo que integró observaciones empíricas, regularidades experimentales y avances teóricos. Desde las primeras clasificaciones basadas en propiedades observables hasta la formulación de la ley periódica, la tabla periódica evolucionó como una herramienta explicativa del comportamiento químico. Investigaciones históricas destacan que este proceso permitió pasar de una química descriptiva a una química predictiva. En la educación secundaria, comprender esta evolución histórica contribuye a valorar la tabla como construcción científica y no como un producto acabado e inmutable (Scerri, 2020).

Los primeros intentos de clasificación de los elementos se basaron en similitudes cualitativas, como la reactividad o el estado físico, sin un marco teórico unificador. Propuestas como las tríadas de Döbereiner o la ley de las octavas de Newlands evidenciaron patrones parciales que anticipaban la periodicidad. Sin embargo, estas clasificaciones presentaban limitaciones debido al desconocimiento de la estructura atómica. La formulación de la tabla de Mendeleev representó un avance decisivo al organizar los elementos según su masa atómica y propiedades químicas, incluso dejando espacios para elementos aún no descubiertos. Este carácter predictivo consolidó la validez científica de la tabla periódica. Estudios contemporáneos resaltan que este aspecto histórico resulta clave para comprender el valor epistemológico de la tabla (Scerri y McIntyre, 2022).

El desarrollo posterior de la teoría atómica y el descubrimiento del número atómico como criterio organizador transformaron profundamente la tabla periódica. La incorporación del modelo atómico de Bohr y, posteriormente, de la mecánica cuántica permitió explicar las regularidades observadas en términos de estructura electrónica. La tabla dejó de ser una simple ordenación empírica para convertirse en una representación fundamentada en principios teóricos sólidos. Este avance científico fortaleció la capacidad explicativa y predictiva de la tabla periódica. En la enseñanza de la química, este tránsito histórico permite mostrar cómo

el conocimiento científico se construye y se revisa. Así, la tabla periódica se presenta como un ejemplo paradigmático del progreso científico (Scerri, 2021).

Desde una perspectiva didáctica, la evolución histórica de la tabla periódica ofrece oportunidades para desarrollar el pensamiento científico en los estudiantes. Analizar cómo los científicos identificaron patrones, formularon hipótesis y revisaron modelos favorece la comprensión de la naturaleza de la ciencia. Diversos estudios señalan que la enseñanza de la historia de la química mejora la comprensión conceptual y reduce la percepción de arbitrariedad del conocimiento científico. En secundaria, este enfoque contribuye a humanizar la ciencia y a contextualizar los contenidos curriculares. Además, permite comprender que los modelos científicos son construcciones provisionales. Por ello, la evolución histórica de la tabla periódica constituye un recurso pedagógico de alto valor formativo (Matthews, 2020).

Finalmente, la tabla periódica continúa evolucionando a partir de nuevos descubrimientos y debates científicos. La incorporación de elementos superpesados y la discusión sobre formas alternativas de representación evidencian que la tabla no es un objeto cerrado. Investigaciones recientes analizan distintas configuraciones tabulares y sus implicaciones conceptuales. Este dinamismo refuerza la idea de que la ciencia es un proceso en constante construcción. En el aula, presentar la tabla periódica como una representación viva favorece una comprensión más profunda y crítica. Así, su evolución histórica y científica se convierte en un eje articulador del aprendizaje químico en educación secundaria (Scerri y Restrepo, 2023).

Organización, propiedades periódicas y relaciones químicas

La organización de la tabla periódica se fundamenta en la ley periódica, según la cual las propiedades de los elementos varían de manera regular en función de su número atómico. Esta organización permite agrupar los elementos en periodos y grupos que reflejan similitudes estructurales y comportamientos químicos análogos. La disposición tabular no es arbitraria, sino que responde a regularidades derivadas de la estructura electrónica de los átomos. En educación secundaria, comprender esta lógica organizativa resulta esencial para

interpretar las propiedades químicas. La tabla periódica actúa así como un marco conceptual que integra múltiples contenidos de la química general (Chang y Goldsby, 2021).

Las propiedades periódicas, como el radio atómico, la energía de ionización, la afinidad electrónica y la electronegatividad, constituyen expresiones directas de la estructura electrónica. Estas propiedades presentan tendencias sistemáticas a lo largo de los periodos y grupos, lo que permite predecir el comportamiento químico de los elementos. Sin embargo, su comprensión exige un razonamiento relacional que va más allá de la memorización. Diversos estudios indican que los estudiantes presentan dificultades para explicar estas tendencias en términos causales. Por ello, la enseñanza debe enfatizar la relación entre configuración electrónica y propiedades periódicas. Este enfoque favorece una comprensión integrada y funcional de la tabla periódica (Taber, 2021).

Las relaciones químicas que emergen de la organización periódica se manifiestan en la formación de enlaces, la reactividad y la estabilidad de las sustancias. Los elementos de un mismo grupo tienden a presentar comportamientos químicos similares debido a su estructura electrónica externa. Esta regularidad permite explicar la formación de familias químicas y predecir tipos de enlace. En la enseñanza tradicional, estas relaciones suelen presentarse como reglas aisladas, lo que dificulta su comprensión profunda. Investigaciones en didáctica de la química destacan la importancia de abordar estas relaciones de manera integrada. De este modo, la tabla periódica se convierte en una herramienta explicativa central del comportamiento químico (Cooper y Stowe, 2021).

Asimismo, la organización periódica facilita la comprensión de excepciones y variaciones en el comportamiento químico. Elementos de transición, lantánidos y actínidos presentan particularidades que desafían explicaciones simplificadas. Estas excepciones ofrecen oportunidades para profundizar en modelos más avanzados y en la complejidad de la estructura electrónica. En secundaria, el tratamiento adecuado de estas variaciones contribuye a evitar generalizaciones incorrectas. La literatura señala que el análisis de casos particulares fortalece el razonamiento científico y la comprensión conceptual. Así, la tabla periódica no solo organiza, sino

que también invita a problematizar el conocimiento químico (Scerri, 2020).

Finalmente, la comprensión de la organización y de las propiedades periódicas resulta fundamental para la resolución de problemas químicos. La tabla periódica permite anticipar reacciones, seleccionar reactivos y explicar productos formados. Cuando los estudiantes aprenden a usarla como herramienta de razonamiento, mejora su desempeño en tareas complejas. Estudios recientes indican que el uso funcional de la tabla periódica se asocia con aprendizajes más profundos y duraderos. En educación secundaria, este uso funcional representa un objetivo central de la enseñanza de la química. Por ello, la tabla periódica se consolida como un eje estructurante del pensamiento químico (Chang y Goldsby, 2021).

Limitaciones de los modelos tradicionales de enseñanza

Los modelos tradicionales de enseñanza de la tabla periódica se han caracterizado por un enfoque transmisivo y memorístico. En muchos contextos educativos, la tabla se presenta como un objeto estático que debe ser aprendido de memoria. Este enfoque prioriza la repetición de símbolos y valores numéricos, relegando la comprensión conceptual. Diversos estudios señalan que esta metodología contribuye a la percepción de la química como una disciplina difícil y poco significativa. En consecuencia, los estudiantes desarrollan aprendizajes superficiales y fragmentados. Estas limitaciones afectan la capacidad de utilizar la tabla periódica como herramienta explicativa (Taber, 2020).

Una de las principales limitaciones de los modelos tradicionales es la escasa articulación entre la tabla periódica y otros contenidos de la química. Frecuentemente, las propiedades periódicas se enseñan de forma aislada, sin conexión con la estructura atómica o el enlace químico. Esta fragmentación dificulta la construcción de un marco conceptual integrado. Investigaciones en educación química muestran que los estudiantes no logran transferir el conocimiento de la tabla a la explicación de reacciones químicas. Ello evidencia una brecha entre el aprendizaje declarativo y el funcional. Superar esta

limitación requiere replantear las estrategias didácticas empleadas (Cooper y Stowe, 2021).

Otra limitación relevante es la escasa atención a las concepciones previas y alternativas de los estudiantes. Los modelos tradicionales asumen que la exposición a la información correcta es suficiente para generar aprendizaje. Sin embargo, la investigación educativa ha demostrado que las ideas previas influyen de manera decisiva en la interpretación de los nuevos contenidos. Cuando estas concepciones no se abordan explícitamente, persisten y obstaculizan la comprensión. En el caso de la tabla periódica, esto se manifiesta en errores sobre periodicidad y relaciones químicas. Por ello, los enfoques tradicionales resultan insuficientes para promover un aprendizaje significativo (Suparman et al., 2024).

Asimismo, los modelos tradicionales suelen subestimar el papel de la visualización y de las representaciones múltiples. La enseñanza centrada en el texto y la pizarra limita la comprensión de procesos submicroscópicos. La falta de recursos visuales dinámicos dificulta la coordinación entre niveles de representación. Estudios recientes destacan que esta carencia afecta especialmente a estudiantes con menor desarrollo de habilidades espaciales. En consecuencia, se amplían las brechas de aprendizaje en el aula. Superar esta limitación implica integrar recursos visuales y tecnológicos de manera pedagógicamente fundamentada (Eilam y Gilbert, 2023).

Finalmente, las limitaciones de los modelos tradicionales se reflejan también en los sistemas de evaluación empleados. Las evaluaciones centradas en la memorización refuerzan estrategias de estudio superficiales y desincentivan la comprensión profunda. Cuando se evalúa únicamente la reproducción de información, los estudiantes no desarrollan habilidades de razonamiento químico. La literatura señala que una evaluación alineada con la comprensión conceptual mejora el uso funcional de la tabla periódica. En educación secundaria, este cambio resulta clave para transformar la enseñanza de la química. Así, reconocer las limitaciones de los modelos tradicionales constituye el primer paso hacia la innovación didáctica (OECD, 2023).



CAPÍTULO IV

TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS
APLICADAS A LAS CIENCIAS



TIC, TAC y TEP en la enseñanza de la Química

La incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación en la educación ha transformado progresivamente los procesos de enseñanza y aprendizaje en las ciencias naturales. En el área de la Química, las TIC han permitido ampliar el acceso a información, diversificar los recursos didácticos y flexibilizar los entornos de aprendizaje. Sin embargo, su integración inicial se centró principalmente en la transmisión de contenidos, replicando modelos tradicionales en formatos digitales. Este uso instrumental de la tecnología evidenció la necesidad de un enfoque pedagógico más profundo. En respuesta, surgieron las tecnologías del aprendizaje y el conocimiento (TAC), orientadas a favorecer la comprensión conceptual y el aprendizaje significativo. En educación secundaria, esta transición resulta clave para superar la memorización mecánica de contenidos químicos (Area y Adell, 2021).

Las TAC se diferencian de las TIC en que priorizan el diseño pedagógico y el uso didáctico de la tecnología con fines formativos. En la enseñanza de la Química, las TAC promueven actividades de indagación, análisis y resolución de problemas, apoyadas en recursos digitales interactivos. Estas tecnologías permiten representar procesos abstractos y facilitar la construcción de modelos mentales más sólidos. Estudios recientes indican que el uso de TAC mejora la comprensión conceptual cuando se integran de manera coherente con los objetivos curriculares. Además, favorecen el aprendizaje autónomo y la autorregulación del estudiante. En el contexto de la educación secundaria, las TAC contribuyen a un aprendizaje más activo y reflexivo de la química (Cabero y Martínez, 2022).

Por su parte, las tecnologías para el empoderamiento y la participación (TEP) amplían el enfoque tecnológico hacia dimensiones sociales y críticas del aprendizaje. Las TEP buscan que los estudiantes no solo aprendan contenidos, sino que utilicen el conocimiento científico para participar activamente en su entorno. En la enseñanza de la Química, este enfoque permite analizar problemáticas socioambientales, debatir decisiones científicas y promover la ciudadanía responsable. Investigaciones educativas destacan que las TEP favorecen el desarrollo de competencias científicas y sociales de manera integrada. En secundaria, su aplicación resulta especialmente pertinente para vincular la química

con contextos reales y relevantes. De este modo, la tecnología se convierte en una herramienta de transformación educativa y social (Area et al., 2020).

La articulación entre TIC, TAC y TEP en la enseñanza de la Química requiere una planificación didáctica intencionada. No basta con incorporar tecnología al aula; es necesario definir claramente su propósito pedagógico. La literatura señala que la efectividad de estas tecnologías depende de su alineación con los contenidos, las metodologías y la evaluación. Cuando esta coherencia no se logra, la tecnología pierde impacto educativo y se convierte en un recurso accesorio. En cambio, una integración equilibrada favorece la comprensión conceptual, la motivación y el pensamiento crítico. En educación secundaria, esta articulación resulta fundamental para responder a las demandas de la sociedad digital (Redecker, 2020).

Finalmente, el rol del docente es determinante en la implementación efectiva de TIC, TAC y TEP en la enseñanza de la Química. El profesorado debe desarrollar competencias digitales pedagógicas que le permitan seleccionar, adaptar y evaluar recursos tecnológicos. Estudios recientes señalan que la formación docente continua es un factor clave para el éxito de la innovación educativa. En química, esta formación debe considerar tanto los aspectos tecnológicos como los didácticos y disciplinares. De este modo, el docente actúa como mediador entre la tecnología y el aprendizaje significativo. Así, la integración de TIC, TAC y TEP se consolida como un eje estratégico en la educación química contemporánea (OECD, 2021).

Recursos digitales interactivos en educación secundaria

Los recursos digitales interactivos han adquirido un papel central en la educación secundaria, especialmente en la enseñanza de las ciencias experimentales. En Química, estos recursos permiten representar procesos complejos mediante simulaciones, animaciones y entornos virtuales. La interactividad favorece la participación activa del estudiante y promueve un aprendizaje más profundo. A diferencia de los materiales tradicionales, los recursos digitales permiten explorar fenómenos desde múltiples perspectivas. Investigaciones recientes indican que la interacción con estos recursos mejora la

comprensión conceptual y la motivación estudiantil. En este sentido, los recursos digitales se convierten en mediadores cognitivos del aprendizaje químico (De Jong et al., 2020).

La interactividad implica que el estudiante no sea un receptor pasivo de información, sino un agente activo en la construcción del conocimiento. En la enseñanza de la Química, esto se traduce en la posibilidad de manipular variables, observar resultados y formular hipótesis. Los entornos digitales interactivos facilitan la experimentación virtual, especialmente en contextos donde los laboratorios físicos son limitados. Estudios empíricos muestran que estas experiencias virtuales pueden complementar eficazmente la práctica experimental tradicional. Además, permiten repetir procesos y explorar escenarios imposibles en el laboratorio escolar. De este modo, los recursos digitales amplían las oportunidades de aprendizaje en educación secundaria (Makransky y Petersen, 2019).

Los recursos digitales interactivos también favorecen la personalización del aprendizaje, adaptándose a los ritmos y estilos cognitivos de los estudiantes. Plataformas educativas y aplicaciones especializadas permiten ofrecer retroalimentación inmediata y actividades diferenciadas. En química, esta personalización resulta especialmente relevante debido a la diversidad de niveles de comprensión conceptual en el aula. La literatura señala que la retroalimentación inmediata contribuye significativamente al aprendizaje significativo. Asimismo, estos recursos facilitan el seguimiento del progreso del estudiante por parte del docente. En consecuencia, los recursos digitales interactivos fortalecen tanto la enseñanza como la evaluación formativa (Hattie y Donoghue, 2020).

No obstante, la efectividad de los recursos digitales interactivos depende de su diseño pedagógico y de su integración curricular. Recursos mal diseñados o utilizados sin orientación pueden generar sobrecarga cognitiva y confusión conceptual. Investigaciones en educación científica destacan la importancia de seleccionar recursos alineados con los objetivos de aprendizaje y el nivel educativo. En química, esto implica considerar la coherencia entre las representaciones visuales y los conceptos que se desean enseñar. El docente desempeña un rol clave en la mediación entre el recurso y el estudiante. Así, la interactividad se convierte en un medio para la comprensión y no en un fin en sí mismo (Mayer, 2020).

Finalmente, los recursos digitales interactivos contribuyen al desarrollo de competencias digitales y científicas de manera integrada. Al utilizar estos recursos, los estudiantes aprenden a buscar información, interpretar datos y evaluar resultados. Estas habilidades resultan esenciales en la sociedad del conocimiento. En educación secundaria, la integración de recursos digitales en química prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos académicos y profesionales futuros. La literatura educativa resalta que estas competencias son fundamentales para la alfabetización científica contemporánea. De este modo, los recursos digitales interactivos se consolidan como herramientas clave para una educación química innovadora y pertinente (OECD, 2023).

Realidad aumentada, modelado 3D y simulación científica

La realidad aumentada, el modelado tridimensional y la simulación científica representan avances tecnológicos significativos en la enseñanza de la Química. Estas herramientas permiten visualizar estructuras y procesos que no pueden observarse directamente, facilitando la comprensión de conceptos abstractos. En educación secundaria, su uso resulta especialmente relevante para abordar temas como estructura atómica, enlace químico y periodicidad. La literatura señala que estas tecnologías contribuyen a reducir la brecha entre lo teórico y lo observable. Además, promueven un aprendizaje más activo e inmersivo. Así, la realidad aumentada y el modelado 3D se consolidan como recursos didácticos emergentes en la educación química (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2021).

El modelado 3D permite representar entidades químicas en tres dimensiones, favoreciendo el desarrollo de habilidades visuoespaciales. En química, estas habilidades son fundamentales para comprender geometrías moleculares y relaciones estructurales. Estudios recientes evidencian que los estudiantes que utilizan modelos 3D presentan mejoras en la comprensión conceptual y en la retención del conocimiento. No obstante, la eficacia del modelado depende de su integración con actividades reflexivas y explicativas. Sin una mediación adecuada, los modelos pueden ser interpretados de manera superficial. Por ello, el diseño didáctico resulta clave para

aprovechar el potencial del modelado 3D en educación secundaria (Stieff et al., 2020).

La simulación científica permite recrear procesos químicos de manera dinámica, posibilitando la exploración de variables y la observación de resultados en tiempo real. Estas simulaciones facilitan la comprensión de procesos complejos y favorecen el razonamiento causal. En el contexto de la química escolar, las simulaciones permiten experimentar sin riesgos asociados al manejo de sustancias. Investigaciones educativas destacan que las simulaciones bien diseñadas mejoran la comprensión conceptual y el pensamiento científico. Además, permiten a los estudiantes formular hipótesis y contrastarlas mediante la experimentación virtual. De este modo, la simulación científica complementa eficazmente la enseñanza tradicional (De Jong & van Joolingen, 2022).

La realidad aumentada combina elementos virtuales con el entorno real, ofreciendo experiencias de aprendizaje inmersivas y contextualizadas. En química, esta tecnología permite superponer información digital sobre objetos físicos, facilitando la visualización de procesos invisibles. Estudios recientes señalan que la realidad aumentada incrementa la motivación y el compromiso del estudiante. Sin embargo, su impacto en la comprensión conceptual depende de su integración pedagógica. La realidad aumentada debe utilizarse como una herramienta para apoyar la explicación y el razonamiento, no como un recurso aislado. En educación secundaria, su uso guiado favorece el aprendizaje significativo (Ripsam et al., 2024).

La integración de realidad aumentada, modelado 3D y simulación científica plantea desafíos pedagógicos y formativos. El docente debe contar con competencias tecnológicas y didácticas para seleccionar y utilizar adecuadamente estas herramientas. Asimismo, es necesario evaluar su impacto real en el aprendizaje, más allá de la motivación inicial. La literatura educativa enfatiza la importancia de investigaciones basadas en evidencia para orientar la innovación tecnológica. En la enseñanza de la Química, estas tecnologías ofrecen un alto potencial para mejorar la comprensión conceptual. Su uso fundamentado permite avanzar hacia una educación científica acorde con las demandas del siglo XXI (Radianti et al., 2020).



CAPÍTULO V

CHEMICAL-3D: FUNDAMENTOS
CONCEPTUALES Y
TECNOLÓGICOS



Origen y propósito educativo de Chemical-3D

Chemical-3D surge como respuesta a las limitaciones identificadas en la enseñanza tradicional de la Química, particularmente en la comprensión de conceptos abstractos como estructura atómica, enlace químico y periodicidad. Diversos estudios en educación química han evidenciado que los estudiantes de secundaria presentan dificultades persistentes para representar mentalmente entidades submicroscópicas y relacionarlas con propiedades macroscópicas. En este contexto, el desarrollo de herramientas digitales basadas en visualización tridimensional se orienta a reducir la brecha entre lo teórico y lo observable. Chemical-3D se concibe como un recurso educativo que integra principios de visualización científica con objetivos curriculares específicos. Su origen se fundamenta en la necesidad de promover aprendizajes significativos mediante representaciones dinámicas y manipulables. Así, la herramienta se alinea con enfoques pedagógicos centrados en la comprensión conceptual y el uso funcional del conocimiento químico (Stieff y Uttal, 2015).

El propósito educativo de Chemical-3D se vincula directamente con el fortalecimiento del pensamiento químico en estudiantes de educación secundaria. La herramienta busca facilitar la comprensión de la tabla periódica y de las relaciones entre estructura, propiedades y comportamiento químico. A diferencia de recursos estáticos, Chemical-3D permite explorar los elementos y sus características desde múltiples perspectivas. Este enfoque responde a recomendaciones de la investigación educativa que destacan la importancia de la visualización interactiva para el aprendizaje de las ciencias. Además, la herramienta se diseña para apoyar procesos de indagación y razonamiento, no solo la observación pasiva. De este modo, Chemical-3D se posiciona como un mediador cognitivo entre el estudiante y los conceptos abstractos de la química (Gilbert, 2021).

Desde una perspectiva pedagógica, Chemical-3D se orienta a complementar la enseñanza presencial y virtual de la química. Su propósito no es sustituir al docente, sino potenciar su labor mediante recursos visuales y manipulativos. La literatura señala que las tecnologías educativas son más efectivas cuando se integran en secuencias didácticas bien planificadas. En este sentido, Chemical-3D se concibe como una herramienta flexible, adaptable a diferentes

estrategias metodológicas. Puede utilizarse en actividades de exploración guiada, resolución de problemas o evaluación formativa. Así, su propósito educativo se articula con modelos de enseñanza centrados en el estudiante y en el aprendizaje activo (Redecker, 2020).

Asimismo, Chemical-3D responde a la necesidad de promover la alfabetización científica y digital de manera integrada. En la sociedad actual, los estudiantes deben desarrollar competencias para interpretar representaciones científicas digitales. La herramienta contribuye a este objetivo al familiarizar a los estudiantes con modelos tridimensionales y simulaciones propias del trabajo científico contemporáneo. Investigaciones recientes destacan que el uso de tecnologías avanzadas en el aula favorece la motivación y el compromiso del alumnado. No obstante, su valor educativo radica en su capacidad para mejorar la comprensión conceptual. Chemical-3D se diseña, por tanto, con un enfoque pedagógico que prioriza el aprendizaje significativo sobre el uso superficial de la tecnología (Radianti et al., 2020).

Finalmente, el origen de Chemical-3D se inscribe en una tendencia más amplia de innovación tecnológica en la educación científica. Diversos proyectos internacionales han demostrado el potencial de las herramientas tridimensionales para la enseñanza de la química. Chemical-3D se diferencia al focalizarse específicamente en la tabla periódica como eje estructurante del currículo. Este enfoque permite articular múltiples contenidos en un solo entorno visual. En educación secundaria, esta articulación resulta clave para evitar la fragmentación del aprendizaje. Así, Chemical-3D se proyecta como una herramienta educativa con fundamentos teóricos sólidos y un propósito claramente orientado a la mejora del aprendizaje químico (Scerri, 2020).

Principios de modelado tridimensional aplicados a la química

El modelado tridimensional en química se fundamenta en la representación espacial de entidades y procesos que no son directamente observables. Átomos, moléculas y estructuras cristalinas requieren modelos que permitan visualizar su geometría y relaciones internas. En educación secundaria, estos modelos facilitan la

construcción de representaciones mentales más precisas. El principio central del modelado 3D es la correspondencia entre la representación y el concepto científico que se desea enseñar. La investigación educativa señala que los modelos deben ser conceptualmente fieles y pedagógicamente accesibles. En este sentido, el modelado tridimensional aplicado a la química busca equilibrar precisión científica y claridad didáctica (Stieff et al., 2020).

Uno de los principios clave del modelado 3D es la integración de múltiples niveles de representación. En química, esto implica articular el nivel submicroscópico con el simbólico y el macroscópico. Los modelos tridimensionales permiten visualizar configuraciones electrónicas, enlaces y geometrías moleculares, facilitando la comprensión de propiedades químicas. Sin embargo, la literatura advierte que los estudiantes pueden interpretar los modelos como réplicas literales de la realidad. Por ello, es fundamental explicitar el carácter representacional y limitado de los modelos. Chemical-3D incorpora este principio al diseñar representaciones que enfatizan relaciones conceptuales más que detalles irrelevantes (Gilbert y Justi, 2016).

El principio de interactividad constituye otro elemento central del modelado tridimensional educativo. A diferencia de las imágenes estáticas, los modelos 3D interactivos permiten rotar, ampliar y explorar estructuras desde diferentes ángulos. Esta interacción favorece el desarrollo de habilidades visuoespaciales y el razonamiento tridimensional. Estudios empíricos muestran que la manipulación activa de modelos mejora la comprensión conceptual en química. No obstante, la interactividad debe estar guiada por objetivos de aprendizaje claros. Chemical-3D aplica este principio al permitir la exploración controlada de elementos y estructuras químicas (Rau, 2022).

Asimismo, el modelado tridimensional aplicado a la química debe considerar la carga cognitiva del estudiante. Modelos excesivamente complejos pueden generar confusión y dificultar el aprendizaje. La investigación sobre carga cognitiva recomienda simplificar las representaciones y presentar la información de manera progresiva. En educación secundaria, este principio resulta especialmente relevante debido a la diversidad de niveles cognitivos del alumnado. Chemical-3D incorpora un diseño gradual que permite

introducir la complejidad de forma secuencial. De este modo, el modelado 3D se convierte en un apoyo al aprendizaje y no en una fuente adicional de dificultad (Mayer, 2020).

Finalmente, el modelado tridimensional en química debe integrarse en un marco pedagógico coherente. Los modelos no enseñan por sí mismos, sino que requieren mediación docente y actividades reflexivas. La literatura destaca que el aprendizaje se potencia cuando los estudiantes explican lo que observan en los modelos. Chemical-3D se diseña para ser utilizado en conjunto con preguntas orientadoras y tareas de análisis. Este enfoque favorece la construcción de significados y el razonamiento científico. Así, los principios del modelado 3D se articulan con los objetivos educativos de la enseñanza de la química (Eilam & Gilbert, 2023).

Componentes, interfaz y funcionalidades de la herramienta

Chemical-3D se estructura a partir de componentes tecnológicos y pedagógicos diseñados para facilitar el aprendizaje de la química en educación secundaria. Entre sus componentes principales se incluyen el motor de visualización tridimensional, la base de datos de elementos químicos y el sistema de interacción usuario-modelo. Estos componentes permiten representar los elementos de la tabla periódica y sus propiedades de manera dinámica. La integración de información visual y textual favorece la comprensión conceptual. Desde el punto de vista educativo, esta arquitectura responde a la necesidad de ofrecer entornos de aprendizaje ricos y coherentes. Así, Chemical-3D combina tecnología y pedagogía en un mismo recurso didáctico (Ibáñez y Delgado, 2021).

La interfaz de Chemical-3D se diseña con criterios de usabilidad y accesibilidad propios de entornos educativos. Una interfaz clara y organizada facilita la navegación y reduce la carga cognitiva del estudiante. En educación secundaria, estos aspectos son fundamentales para garantizar un uso efectivo de la herramienta. La disposición visual de los elementos, los colores y los controles interactivos se orientan a resaltar relaciones químicas relevantes. Estudios en diseño educativo destacan que una interfaz intuitiva mejora la experiencia de aprendizaje y la motivación. Chemical-3D

incorpora estos principios para favorecer una interacción fluida entre el estudiante y el contenido químico (Norman, 2013).

Entre las funcionalidades principales de Chemical-3D se encuentra la exploración interactiva de la tabla periódica. Los estudiantes pueden seleccionar elementos y visualizar sus propiedades, configuraciones electrónicas y relaciones con otros elementos. Esta funcionalidad permite comprender la periodicidad desde una perspectiva dinámica. Además, la herramienta facilita la comparación entre elementos de un mismo grupo o periodo. La literatura señala que este tipo de comparación favorece el razonamiento relacional y la comprensión de tendencias periódicas. En este sentido, Chemical-3D promueve el uso funcional de la tabla periódica como herramienta de razonamiento (Scerri, 2020).

Otra funcionalidad relevante es la posibilidad de integrar simulaciones y representaciones tridimensionales de estructuras químicas. Estas simulaciones permiten observar cómo la estructura influye en las propiedades y el comportamiento químico. En educación secundaria, esta funcionalidad resulta especialmente útil para abordar conceptos abstractos. Investigaciones recientes indican que las simulaciones interactivas mejoran la comprensión conceptual cuando se utilizan con orientación pedagógica. Chemical-3D incorpora estas simulaciones como parte de secuencias didácticas planificadas. De este modo, la herramienta apoya tanto la exploración como la explicación de fenómenos químicos (De Jong y van Joolingen, 2022).

Finalmente, Chemical-3D incorpora funcionalidades orientadas a la evaluación formativa y al seguimiento del aprendizaje. La herramienta permite diseñar actividades guiadas, preguntas de reflexión y retroalimentación inmediata. Estas funcionalidades favorecen la autorregulación del aprendizaje y el diagnóstico de dificultades conceptuales. La literatura educativa destaca la importancia de la evaluación formativa en el aprendizaje significativo. En el contexto de la enseñanza de la química, estas funciones permiten al docente ajustar la enseñanza en función de las necesidades del estudiante. Así, Chemical-3D se consolida como una herramienta integral que combina visualización, interactividad y evaluación pedagógica (Hattie y Donoghue, 2020).



CAPÍTULO VI

CHEMICAL-3D COMO
HERRAMIENTA DIDÁCTICA



Representación tridimensional de elementos y estructuras atómicas

La representación tridimensional de los elementos químicos y de las estructuras atómicas constituye un avance pedagógico relevante en la enseñanza de la química en educación secundaria, ya que permite superar las limitaciones cognitivas asociadas a los modelos bidimensionales tradicionales empleados en libros de texto y pizarras. Desde la perspectiva de la psicología cognitiva, la visualización 3D facilita la construcción de modelos mentales más estables, al integrar simultáneamente información espacial, simbólica y conceptual, favoreciendo la comprensión de la disposición electrónica, los orbitales atómicos y la geometría molecular. Diversos estudios han evidenciado que los entornos tridimensionales promueven una mejor interpretación de conceptos abstractos como la nube electrónica, la hibridación y la distribución energética de los electrones, reduciendo la carga cognitiva intrínseca del aprendizaje químico (Chittleborough, 2020; Gilbert, 2022).

En este contexto, herramientas como Chemical-3D permiten al estudiante interactuar con representaciones dinámicas de átomos y estructuras, posibilitando la rotación, ampliación y descomposición visual de los modelos atómicos. Esta interacción favorece el aprendizaje activo y la exploración autónoma, elementos centrales del enfoque constructivista aplicado a la educación científica. Investigaciones recientes señalan que el uso de modelos tridimensionales digitales incrementa la comprensión de la estructura atómica al permitir la visualización explícita de niveles energéticos, subniveles y orbitales, aspectos que suelen resultar altamente abstractos cuando se presentan únicamente mediante esquemas planos (Akaygun y Jones, 2021; Wu y Shah, 2023).

Desde una perspectiva didáctica, la representación 3D contribuye a establecer relaciones más claras entre la teoría cuántica y los modelos didácticos empleados en el aula, facilitando la transición entre explicaciones matemáticas, simbólicas y visuales. La evidencia empírica demuestra que los estudiantes que trabajan con visualizaciones tridimensionales desarrollan una comprensión más profunda de la estructura atómica y muestran mayor capacidad para explicar fenómenos como la ionización, la electronegatividad y la reactividad química. Este tipo de representación también favorece el

aprendizaje significativo al conectar nuevos contenidos con esquemas previos de carácter visual y espacial (Sanger y Greenbowe, 2021; Stull et al., 2022).

Asimismo, el uso de representaciones tridimensionales digitales fortalece la alfabetización científica y visual, competencias clave en la educación STEM contemporánea. La posibilidad de observar estructuras atómicas en tres dimensiones permite al estudiante reconocer patrones, relaciones espaciales y regularidades que son fundamentales para comprender la organización de la materia. Estudios en educación química han evidenciado que estas herramientas contribuyen al desarrollo del pensamiento abstracto y a la mejora del razonamiento científico, especialmente en estudiantes adolescentes que se encuentran en una etapa de transición cognitiva hacia operaciones formales (Gkitzia et al., 2020; Rau, 2022).

Finalmente, la integración de modelos tridimensionales en la enseñanza de la química responde a las demandas de innovación pedagógica y transformación digital de los sistemas educativos actuales. Chemical-3D se posiciona como una herramienta didáctica que articula tecnología, visualización científica y contenido curricular, promoviendo un aprendizaje más comprensivo y contextualizado de la estructura atómica. La literatura reciente coincide en que la representación tridimensional no solo mejora el rendimiento académico, sino que también incrementa la motivación y el interés por la química, al convertir conceptos abstractos en experiencias visuales accesibles y manipulables (Makransky et al., 2021; Cheng y Tsai, 2023).

Interactividad y exploración de propiedades periódicas

La interactividad constituye uno de los pilares fundamentales de las herramientas digitales aplicadas a la enseñanza de la química, ya que transforma al estudiante de un receptor pasivo de información en un agente activo del proceso de aprendizaje. En el caso de Chemical-3D, la posibilidad de manipular modelos atómicos y explorar propiedades periódicas de manera dinámica favorece la comprensión de tendencias como el radio atómico, la energía de ionización y la afinidad electrónica. La literatura especializada señala que la interactividad digital mejora significativamente la comprensión

de la tabla periódica, al permitir al estudiante experimentar con variables y observar cambios en tiempo real (Taber, 2020; de Jong et al., 2021).

La exploración interactiva de las propiedades periódicas mediante entornos tridimensionales permite visualizar la relación entre estructura atómica y comportamiento químico, superando la memorización mecánica de datos aislados. Investigaciones recientes han demostrado que los estudiantes que utilizan simulaciones interactivas desarrollan una comprensión relacional más profunda de la periodicidad química, al identificar patrones y regularidades a partir de la manipulación directa de los elementos. Este enfoque promueve el aprendizaje por descubrimiento y fortalece la capacidad de análisis crítico en el estudio de la química (Perna y Aksela, 2020; Tasker y Dalton, 2022).

Desde el punto de vista pedagógico, la interactividad facilita la personalización del aprendizaje, permitiendo que cada estudiante explore las propiedades periódicas a su propio ritmo y según sus necesidades cognitivas. Chemical-3D posibilita la comparación visual entre elementos, la observación de variaciones graduales y la simulación de escenarios hipotéticos, lo que favorece la comprensión conceptual y reduce la ansiedad asociada al aprendizaje de la química. Estudios en educación digital indican que este tipo de interacción incrementa la motivación intrínseca y el compromiso académico del alumnado (Makransky y Petersen, 2021; Ibáñez et al., 2023).

La exploración interactiva también contribuye al desarrollo de competencias científicas, como la formulación de hipótesis, la interpretación de datos y la toma de decisiones fundamentadas. Al interactuar con modelos tridimensionales de la tabla periódica, los estudiantes pueden experimentar con diferentes configuraciones electrónicas y analizar cómo estas influyen en las propiedades físicas y químicas de los elementos. La evidencia empírica respalda que este tipo de aprendizaje interactivo favorece el razonamiento causal y la transferencia del conocimiento a situaciones nuevas (Cheng et al., 2020; Rutten et al., 2022).

En síntesis, la interactividad y la exploración de propiedades periódicas mediante Chemical-3D representan una estrategia didáctica innovadora que alinea la enseñanza de la química con los

principios del aprendizaje activo y significativo. La integración de estas herramientas digitales permite superar las dificultades tradicionales asociadas a la comprensión de la tabla periódica, promoviendo un aprendizaje más profundo, contextualizado y motivador. La literatura reciente coincide en que la interactividad digital es un componente esencial para mejorar la calidad del aprendizaje científico en educación secundaria (Smetana y Bell, 2021; Dori et al., 2023).

Vinculación entre teoría química y visualización 3D

La vinculación entre la teoría química y la visualización tridimensional constituye un elemento clave para favorecer la comprensión integral de los conceptos científicos en educación secundaria. Chemical-3D actúa como un puente cognitivo entre los modelos teóricos abstractos y las representaciones visuales concretas, facilitando la internalización de conceptos como estructura atómica, enlaces químicos y periodicidad. La investigación educativa ha demostrado que la integración de visualizaciones 3D mejora la coherencia conceptual y reduce las concepciones alternativas erróneas en química (Gilbert y Treagust, 2021; Stieff et al., 2022).

Desde un enfoque epistemológico, la visualización tridimensional permite representar modelos científicos de manera más fiel a su formulación teórica, contribuyendo a una comprensión más auténtica de la naturaleza de la ciencia. La posibilidad de observar estructuras atómicas y moleculares en tres dimensiones ayuda a los estudiantes a comprender que los modelos químicos son construcciones teóricas que buscan explicar fenómenos observables. Estudios recientes indican que esta articulación entre teoría y visualización fortalece el pensamiento científico y la comprensión de los modelos como herramientas explicativas y predictivas (Justi y Gilbert, 2020; Eilam y Poyas, 2023).

La integración de Chemical-3D en el aula favorece la contextualización del contenido teórico, al permitir que los estudiantes relacionen ecuaciones, símbolos y leyes químicas con representaciones visuales dinámicas. Esta vinculación mejora la comprensión de procesos complejos como la formación de enlaces, la

polaridad molecular y la reactividad química. Investigaciones en didáctica de la química señalan que los estudiantes que trabajan con visualizaciones 3D muestran mayor capacidad para aplicar conceptos teóricos en la resolución de problemas y en situaciones experimentales simuladas (Sanger et al., 2021; Kozma y Russell, 2022).

Asimismo, la visualización tridimensional contribuye al desarrollo de habilidades metacognitivas, al permitir que los estudiantes reflexionen sobre su propio proceso de aprendizaje y ajusten sus estrategias cognitivas. Al contrastar la teoría química con representaciones visuales interactivas, los estudiantes pueden identificar inconsistencias, formular preguntas y profundizar en la comprensión conceptual. La literatura reciente destaca que esta interacción promueve un aprendizaje autorregulado y favorece la transferencia del conocimiento a contextos académicos y cotidianos (Ainsworth, 2020; Ponce y Mayer, 2023).

Finalmente, la vinculación entre teoría química y visualización 3D responde a las exigencias de innovación educativa y alfabetización científica del siglo XXI. Chemical-3D se configura como una herramienta didáctica que integra contenido disciplinar, tecnología digital y estrategias pedagógicas activas, favoreciendo una enseñanza de la química más comprensible, motivadora y alineada con los desafíos contemporáneos. La evidencia científica respalda que esta articulación mejora significativamente la comprensión conceptual, el rendimiento académico y la actitud hacia la química en estudiantes de educación secundaria (Makransky et al., 2021; Dori y Belcher, 2023).



CAPÍTULO VII

ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS
PARA EL USO DE CHEMICAL-3D



Integración curricular en educación secundaria

La integración curricular de Chemical-3D en la educación secundaria representa una estrategia metodológica clave para fortalecer la enseñanza de la química desde un enfoque interdisciplinario, coherente con los lineamientos actuales de innovación educativa y transformación digital. La incorporación de esta herramienta no debe concebirse como un recurso aislado, sino como un componente articulador del currículo que permita vincular contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Diversos estudios en didáctica de las ciencias coinciden en que la integración efectiva de tecnologías digitales favorece la coherencia curricular y mejora la alineación entre objetivos, contenidos y estrategias de evaluación (Dori y Belcher, 2023; Gilbert, 2022).

Desde una perspectiva curricular, Chemical-3D facilita la secuenciación progresiva de contenidos relacionados con la estructura atómica, la tabla periódica y los enlaces químicos, permitiendo abordar estos temas de manera gradual y contextualizada. La visualización tridimensional contribuye a que los estudiantes comprendan la continuidad conceptual entre los diferentes bloques curriculares, reduciendo la fragmentación del conocimiento químico. Investigaciones recientes señalan que la integración de visualizaciones digitales en el currículo favorece el aprendizaje profundo y la construcción de redes conceptuales sólidas en estudiantes de secundaria (Stull et al., 2022; Wu y Shah, 2023).

Asimismo, la integración curricular de Chemical-3D promueve la transversalidad del aprendizaje, al facilitar la conexión de la química con otras áreas del conocimiento como la física, las matemáticas y la tecnología. Esta articulación interdisciplinaria responde a los enfoques STEM y STEAM, que buscan desarrollar competencias científicas y tecnológicas de manera integrada. Estudios en educación secundaria destacan que el uso de herramientas digitales tridimensionales fortalece la comprensión de fenómenos complejos y favorece la transferencia del conocimiento entre disciplinas (Makransky et al., 2021; Ibáñez et al., 2023).

Desde el punto de vista metodológico, la integración curricular de Chemical-3D requiere una planificación didáctica intencionada, que considere los objetivos de aprendizaje, los

contenidos específicos y las competencias a desarrollar. La literatura educativa enfatiza que el éxito de la integración tecnológica depende de su alineación con el currículo oficial y de su adecuación al contexto institucional y sociocultural del estudiantado. Investigaciones recientes subrayan que una integración curricular coherente mejora la aceptación de las tecnologías digitales y optimiza su impacto pedagógico (de Jong et al., 2021; Smetana y Bell, 2021).

La integración curricular de Chemical-3D contribuye a la actualización pedagógica de la enseñanza de la química, alineándola con las demandas educativas del siglo XXI. Al incorporar visualización tridimensional y exploración interactiva dentro del currículo, se favorece una enseñanza más contextualizada, significativa y orientada al desarrollo de competencias. La evidencia científica respalda que esta integración mejora tanto la comprensión conceptual como la motivación y el desempeño académico del alumnado en educación secundaria (Cheng y Tsai, 2023; Dori et al., 2023).

Actividades didácticas basadas en exploración y descubrimiento

Las actividades didácticas basadas en la exploración y el descubrimiento constituyen un eje metodológico fundamental para el uso pedagógico de Chemical-3D en la enseñanza de la química. Este enfoque se sustenta en principios constructivistas que conciben al estudiante como protagonista de su propio aprendizaje, promoviendo la indagación, la experimentación y la reflexión crítica. Estudios recientes evidencian que las metodologías basadas en el descubrimiento favorecen la comprensión profunda de conceptos científicos y fortalecen el pensamiento crítico en educación secundaria (Justi y Gilbert, 2020; Tasker & Dalton, 2022).

Chemical-3D permite diseñar actividades exploratorias en las que los estudiantes interactúan con modelos tridimensionales para analizar estructuras atómicas, identificar tendencias periódicas y formular hipótesis sobre el comportamiento químico de los elementos. Estas actividades fomentan la curiosidad científica y la autonomía del aprendizaje, al permitir que los estudiantes descubran relaciones conceptuales a partir de la manipulación directa de los modelos. La literatura en didáctica de la química destaca que este tipo

de experiencias promueven un aprendizaje activo y reducen la dependencia de la memorización mecánica (Sanger y Greenbowe, 2021; Rau, 2022).

Desde una perspectiva pedagógica, las actividades basadas en exploración y descubrimiento facilitan la construcción de significados al conectar la teoría química con experiencias visuales y manipulativas. Chemical-3D ofrece un entorno seguro para la experimentación virtual, donde los estudiantes pueden cometer errores, contrastar resultados y reformular sus ideas sin las restricciones de los laboratorios tradicionales. Investigaciones recientes señalan que este tipo de aprendizaje favorece la transferencia del conocimiento y mejora la capacidad de resolución de problemas científicos (Rutten et al., 2022; Kozma y Russell, 2022).

Asimismo, estas actividades didácticas promueven la interacción social y el aprendizaje colaborativo, al permitir que los estudiantes compartan observaciones, discutan hipótesis y construyan conocimiento de manera conjunta. La combinación de exploración digital y trabajo colaborativo se ha asociado con mayores niveles de motivación y participación en el aula de ciencias. Estudios en educación secundaria destacan que este enfoque fortalece tanto las competencias científicas como las habilidades comunicativas del alumnado (Dori et al., 2023; Ibáñez et al., 2023).

Las actividades didácticas basadas en exploración y descubrimiento, apoyadas en Chemical-3D, constituyen una estrategia metodológica eficaz para mejorar la enseñanza de la química. Al integrar visualización tridimensional, interactividad y aprendizaje activo, estas actividades favorecen una comprensión más profunda, significativa y duradera de los contenidos curriculares. La evidencia científica respalda que este enfoque metodológico contribuye a transformar el aula de química en un espacio de indagación y construcción del conocimiento (Gilbert y Treagust, 2021; Makransky y Petersen, 2021).

Rol del docente y del estudiante en entornos digitales

El uso de Chemical-3D en entornos digitales implica una redefinición del rol tradicional del docente y del estudiante, acorde con

los enfoques pedagógicos centrados en el aprendizaje activo y significativo. En este contexto, el docente asume el rol de mediador y facilitador del aprendizaje, orientando la exploración, formulando preguntas desafiantes y promoviendo la reflexión crítica sobre los contenidos químicos. La literatura educativa coincide en que este cambio de rol es fundamental para aprovechar el potencial pedagógico de las tecnologías digitales en la enseñanza de las ciencias (Ainsworth, 2020; Dori y Belcher, 2023).

Desde la perspectiva metodológica, el docente debe diseñar situaciones de aprendizaje que integren Chemical-3D de manera intencionada, alineando las actividades con los objetivos curriculares y las competencias a desarrollar. Esto implica seleccionar contenidos adecuados, proponer actividades exploratorias y orientar al estudiantado en la interpretación de las representaciones tridimensionales. Investigaciones recientes destacan que la formación docente en el uso pedagógico de tecnologías digitales es un factor clave para garantizar su impacto positivo en el aprendizaje (de Jong et al., 2021; Smetana y Bell, 2021).

Por su parte, el estudiante asume un rol activo y participativo, caracterizado por la exploración autónoma, la formulación de hipótesis y la toma de decisiones informadas. Chemical-3D favorece este rol al ofrecer un entorno interactivo que estimula la curiosidad y el aprendizaje autorregulado. Estudios en educación secundaria señalan que los estudiantes que participan activamente en entornos digitales desarrollan mayor responsabilidad sobre su aprendizaje y muestran una actitud más positiva hacia las ciencias (Makransky et al., 2021; Cheng et al., 2020).

La interacción entre docente y estudiante en entornos digitales se transforma en un proceso bidireccional, donde el diálogo, la retroalimentación y la reflexión adquieren un papel central. Chemical-3D facilita esta interacción al permitir el análisis conjunto de modelos tridimensionales y la discusión de resultados obtenidos durante la exploración. Investigaciones recientes indican que este tipo de interacción fortalece la comprensión conceptual y favorece el desarrollo de habilidades metacognitivas (Ponce y Mayer, 2023; Eilam y Poyas, 2023).

Finalmente, la redefinición de los roles del docente y del estudiante en entornos digitales contribuye a una enseñanza de la química más dinámica, participativa y centrada en el aprendizaje. Chemical-3D se configura como una herramienta que potencia esta transformación pedagógica, alineando la práctica docente con las demandas educativas contemporáneas. La evidencia científica respalda que este cambio de roles mejora la calidad del aprendizaje y fortalece las competencias científicas y digitales del alumnado en educación secundaria (Justi y Gilbert, 2020; Dori et al., 2023).



CAPÍTULO VIII

IMPACTO PEDAGÓGICO DE CHEMICAL-3D EN EL APRENDIZAJE



Comprensión conceptual y reducción de la abstracción

La comprensión conceptual en química ha estado históricamente limitada por el alto nivel de abstracción que caracteriza a contenidos como la estructura atómica, los enlaces químicos y las propiedades periódicas, lo que dificulta su apropiación significativa por parte de los estudiantes de educación secundaria. En este sentido, la incorporación de herramientas como Chemical-3D contribuye de manera sustancial a reducir dicha abstracción al ofrecer representaciones visuales tridimensionales que permiten integrar lo simbólico, lo macroscópico y lo submicroscópico. Diversas investigaciones han demostrado que el uso de visualizaciones 3D mejora la comprensión conceptual al facilitar la construcción de modelos mentales coherentes y estables, reduciendo errores conceptuales persistentes en el aprendizaje de la química (Gilbert, 2022; Chittleborough, 2020).

Desde la perspectiva del aprendizaje significativo, la reducción de la abstracción mediante visualización tridimensional favorece el anclaje de nuevos conocimientos en estructuras cognitivas previas, permitiendo que los estudiantes establezcan relaciones entre conceptos teóricos y representaciones visuales dinámicas. Chemical-3D posibilita la observación directa de configuraciones electrónicas, orbitales y relaciones espaciales que, en los modelos tradicionales, suelen presentarse de forma fragmentada o excesivamente simbólica. Estudios recientes señalan que esta integración visual contribuye a una comprensión más profunda y duradera de los conceptos químicos fundamentales (Stull et al., 2022; Wu y Shah, 2023).

Asimismo, la reducción de la abstracción impacta positivamente en la capacidad de los estudiantes para transferir el conocimiento químico a nuevas situaciones de aprendizaje y resolución de problemas. Al interactuar con modelos tridimensionales, los estudiantes pueden experimentar con variaciones estructurales y analizar sus efectos en las propiedades químicas, fortaleciendo el razonamiento causal y la comprensión relacional. La evidencia empírica indica que este enfoque disminuye la dependencia de la memorización mecánica y promueve un aprendizaje conceptual más flexible y funcional (Sanger y Greenbowe, 2021; Rau, 2022).

Desde el punto de vista didáctico, Chemical-3D actúa como mediador cognitivo que facilita la interpretación de conceptos altamente abstractos, especialmente en estudiantes adolescentes que se encuentran en proceso de consolidación del pensamiento formal. La visualización tridimensional permite representar fenómenos invisibles a la percepción directa, como la distribución de electrones o la geometría molecular, haciendo accesible el conocimiento científico sin simplificarlo de manera excesiva. Investigaciones en didáctica de las ciencias destacan que esta mediación visual mejora la claridad conceptual y reduce la carga cognitiva asociada al aprendizaje químico (Ainsworth, 2020; Gkitzia et al., 2020).

Finalmente, la mejora en la comprensión conceptual derivada del uso de Chemical-3D se traduce en un impacto positivo en el rendimiento académico y en la actitud hacia la química. Al disminuir la abstracción, los estudiantes perciben los contenidos como más comprensibles y relevantes, lo que refuerza su confianza y disposición hacia el aprendizaje científico. La literatura reciente coincide en que las herramientas de visualización tridimensional constituyen un recurso pedagógico eficaz para abordar uno de los principales desafíos de la enseñanza de la química: la comprensión de fenómenos abstractos complejos (Makransky et al., 2021; Cheng y Tsai, 2023).

Motivación, participación y aprendizaje activo

La motivación constituye un factor determinante en el aprendizaje de la química, especialmente en contextos educativos donde los contenidos suelen percibirse como difíciles o poco atractivos. En este marco, Chemical-3D se presenta como una herramienta didáctica que incrementa la motivación intrínseca del estudiantado al incorporar elementos de interactividad, exploración y visualización dinámica. Estudios recientes en educación científica evidencian que los entornos digitales interactivos generan mayores niveles de interés y compromiso, al transformar el aprendizaje en una experiencia activa y participativa (Makransky y Petersen, 2021; Ibáñez et al., 2023).

La participación activa del estudiante se ve fortalecida cuando el proceso de enseñanza-aprendizaje incorpora herramientas que permiten la manipulación directa de los contenidos. Chemical-3D facilita esta participación al ofrecer un entorno en el que los estudiantes pueden explorar estructuras atómicas, comparar elementos y analizar propiedades químicas de manera autónoma. Esta interacción promueve el aprendizaje activo, entendido como un proceso en el que el estudiante construye el conocimiento a partir de la exploración, la reflexión y la toma de decisiones informadas (de Jong et al., 2021; Smetana y Bell, 2021).

Desde una perspectiva pedagógica, la motivación generada por el uso de herramientas tridimensionales se relaciona directamente con el aumento del tiempo de dedicación a las tareas académicas y con una mayor disposición a enfrentar desafíos cognitivos complejos. Investigaciones han demostrado que los estudiantes que trabajan con simulaciones y visualizaciones interactivas muestran mayor persistencia, curiosidad y autorregulación del aprendizaje en comparación con aquellos que siguen metodologías tradicionales (Cheng et al., 2020; Rutten et al., 2022).

El aprendizaje activo promovido por Chemical-3D también favorece la interacción social y el trabajo colaborativo en el aula, al permitir actividades de exploración conjunta, discusión de resultados y construcción colectiva del conocimiento. Este enfoque se alinea con los principios del constructivismo social, que destacan la importancia del diálogo y la interacción en el aprendizaje significativo. Estudios en educación química señalan que la combinación de visualización digital y aprendizaje colaborativo potencia la comprensión conceptual y la motivación académica (Dori et al., 2023; Tasker y Dalton, 2022).

El impacto de Chemical-3D en la motivación, la participación y el aprendizaje activo es ampliamente respaldado

por la literatura científica reciente. Al integrar interactividad, visualización y exploración autónoma, esta herramienta contribuye a transformar la enseñanza de la química en una experiencia más atractiva, significativa y centrada en el estudiante. La evidencia empírica coincide en que el uso de recursos digitales interactivos constituye una estrategia efectiva para mejorar la calidad del aprendizaje científico en educación secundaria (Gilbert y Treagust, 2021; Dori & Belcher, 2023).

Desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas

El desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas es un objetivo central de la educación contemporánea, especialmente en el marco de la alfabetización científica y digital requerida en el siglo XXI. Chemical-3D contribuye de manera significativa a este propósito al ofrecer un entorno de aprendizaje que integra contenidos disciplinares con el uso de tecnologías digitales avanzadas. La literatura reciente destaca que el uso de herramientas de visualización tridimensional fortalece habilidades como la observación sistemática, el análisis de datos y el razonamiento científico (Kozma y Russell, 2022; Stieff et al., 2022).

Desde el ámbito de las habilidades científicas, la interacción con modelos 3D permite a los estudiantes formular hipótesis, identificar patrones y establecer relaciones causales entre estructura y propiedades químicas. Chemical-3D facilita la experimentación virtual, lo que favorece el pensamiento crítico y la comprensión del método científico sin las limitaciones logísticas de los laboratorios tradicionales. Investigaciones en educación en ciencias indican que estas experiencias digitales mejoran la capacidad de los estudiantes para interpretar fenómenos químicos y aplicar conceptos teóricos en contextos nuevos (Justi y Gilbert, 2020; Sanger et al., 2021).

En cuanto a las habilidades tecnológicas, el uso sistemático de Chemical-3D promueve la competencia digital, entendida como la capacidad de utilizar herramientas tecnológicas de manera crítica, creativa y responsable. Los estudiantes desarrollan destrezas relacionadas con la navegación en entornos digitales, la manipulación de modelos virtuales y la interpretación de información visual

compleja. Estudios recientes señalan que estas competencias son fundamentales para la formación integral del alumnado y su preparación para entornos académicos y profesionales altamente tecnificados (Eilam y Poyas, 2023; Ponce y Mayer, 2023).

Asimismo, la integración de Chemical-3D favorece el desarrollo de habilidades metacognitivas, al permitir que los estudiantes reflexionen sobre su propio proceso de aprendizaje y ajusten sus estrategias cognitivas en función de los resultados obtenidos. La visualización tridimensional facilita la autoevaluación y la identificación de errores conceptuales, promoviendo un aprendizaje más consciente y autorregulado. La evidencia empírica respalda que este tipo de entornos digitales contribuyen al desarrollo de aprendices autónomos y críticos (Ainsworth, 2020; Rau, 2022).

Finalmente, el impacto de Chemical-3D en el desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas refuerza su valor como herramienta didáctica innovadora en la enseñanza de la química. Al integrar visualización, interactividad y tecnología, esta herramienta contribuye a formar estudiantes con competencias científicas sólidas y habilidades digitales alineadas con las demandas educativas actuales. La literatura especializada coincide en que la incorporación de recursos tridimensionales digitales constituye una estrategia eficaz para fortalecer la educación científica y tecnológica en educación secundaria (Makransky et al., 2021; Dori et al., 2023).



CAPÍTULO XI

EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE MEDIADO POR CHEMICAL-3D



Evaluación formativa y sumativa en entornos digitales

La evaluación del aprendizaje en entornos digitales mediados por herramientas como Chemical-3D requiere una reconceptualización de los enfoques tradicionales de evaluación en la enseñanza de la química, integrando estrategias formativas y sumativas que permitan valorar no solo los resultados finales, sino también los procesos de aprendizaje. En este contexto, la evaluación formativa adquiere un papel central al proporcionar información continua sobre el progreso del estudiante, permitiendo ajustar la enseñanza y apoyar la construcción gradual del conocimiento químico. La literatura reciente señala que los entornos digitales favorecen la implementación de evaluaciones formativas más dinámicas, basadas en la observación, la interacción y el análisis de evidencias de aprendizaje en tiempo real (Black & Wiliam, 2020; Smetana y Bell, 2021).

La evaluación sumativa, por su parte, sigue siendo un componente necesario para certificar el logro de los objetivos de aprendizaje y valorar el nivel de comprensión alcanzado por los estudiantes al finalizar una unidad o período académico. Chemical-3D permite diseñar evaluaciones sumativas más contextualizadas, en las que los estudiantes deben aplicar conceptos teóricos a situaciones visuales y tridimensionales, superando la evaluación basada exclusivamente en la memorización de contenidos. Estudios en educación química evidencian que este tipo de evaluación favorece una medición más auténtica del aprendizaje y refleja de mejor manera la comprensión conceptual del alumnado (Stull et al., 2022; Gilbert, 2022).

Desde una perspectiva pedagógica, la combinación de evaluación formativa y sumativa en entornos digitales promueve un enfoque integral de la evaluación del aprendizaje. Chemical-3D facilita la recolección de múltiples evidencias, como interacciones con modelos 3D, respuestas a actividades exploratorias y resultados de simulaciones, lo que permite al docente obtener una visión más completa del desempeño estudiantil. Investigaciones recientes destacan que esta triangulación de evidencias mejora la validez y la fiabilidad de los procesos evaluativos en ciencias (Dori y Belcher, 2023; de Jong et al., 2021).

Asimismo, la evaluación en entornos digitales contribuye a una mayor transparencia y claridad en los criterios de evaluación, al permitir que los estudiantes comprendan qué se espera de ellos y cómo se valorará su aprendizaje. Chemical-3D posibilita la integración de rúbricas digitales y criterios explícitos asociados a la exploración y análisis de modelos químicos, lo que favorece la autorregulación y la responsabilidad del estudiante sobre su propio aprendizaje. La literatura educativa resalta que esta claridad evaluativa incrementa la motivación y reduce la ansiedad asociada a la evaluación en química (Panadero et al., 2020; Makransky y Petersen, 2021).

Finalmente, la evaluación formativa y sumativa mediada por Chemical-3D se alinea con los enfoques actuales de evaluación para el aprendizaje, que conciben la evaluación como un proceso continuo y orientado a la mejora. La evidencia científica respalda que el uso de herramientas digitales tridimensionales permite diseñar evaluaciones más coherentes con los objetivos curriculares y con las demandas cognitivas del aprendizaje químico en educación secundaria (Cheng y Tsai, 2023; Dori et al., 2023).

Indicadores de desempeño y comprensión química

La definición de indicadores de desempeño constituye un elemento clave para evaluar la comprensión química en entornos de aprendizaje mediados por Chemical-3D, ya que permite operacionalizar los objetivos de aprendizaje en criterios observables y medibles. Estos indicadores deben contemplar no solo el dominio conceptual, sino también la capacidad del estudiante para interpretar representaciones tridimensionales, establecer relaciones entre estructura y propiedades químicas y aplicar el conocimiento en contextos nuevos. La literatura reciente destaca que los indicadores de desempeño bien definidos mejoran la coherencia y la objetividad de los procesos evaluativos en ciencias (Brookhart, 2021; Gilbert y Treagust, 2021).

En el contexto de Chemical-3D, los indicadores de comprensión química pueden incluir la identificación correcta de estructuras atómicas, la interpretación de tendencias periódicas y la explicación de fenómenos químicos a partir de modelos tridimensionales. Estos indicadores permiten evaluar la comprensión

profunda de los contenidos, más allá de la reproducción de definiciones o fórmulas. Investigaciones en didáctica de la química señalan que la evaluación basada en representaciones visuales favorece una medición más auténtica del aprendizaje conceptual (Sanger y Greenbowe, 2021; Wu y Shah, 2023).

Desde una perspectiva metodológica, el uso de indicadores de desempeño facilita la alineación entre objetivos, actividades y evaluación, principio fundamental del diseño instruccional efectivo. Chemical-3D permite vincular directamente las actividades de exploración y descubrimiento con indicadores específicos, como la capacidad de analizar configuraciones electrónicas o de predecir propiedades químicas a partir de la estructura. Estudios recientes subrayan que esta alineación mejora la calidad del aprendizaje y la claridad del proceso evaluativo para docentes y estudiantes (Biggs y Tang, 2020; Stieff et al., 2022).

Asimismo, los indicadores de desempeño en entornos digitales contribuyen a evaluar el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior, como el razonamiento espacial, el pensamiento crítico y la resolución de problemas científicos. Chemical-3D ofrece oportunidades para observar estas habilidades en acción, a través de la interacción del estudiante con modelos tridimensionales y simulaciones químicas. La evidencia empírica respalda que la evaluación de estas habilidades proporciona una visión más completa y significativa de la comprensión química del alumnado (Kozma y Russell, 2022; Rau, 2022).

En síntesis, el uso de indicadores de desempeño y comprensión química en la evaluación mediada por Chemical-3D fortalece la validez pedagógica de los procesos evaluativos. Al centrarse en la comprensión conceptual y en la aplicación del conocimiento, estos indicadores permiten valorar de manera más precisa el impacto de la herramienta digital en el aprendizaje de la química en educación secundaria. La literatura especializada coincide en que este enfoque evaluativo contribuye a mejorar la calidad de la enseñanza y del aprendizaje científico (Dori et al., 2023; Cheng y Tsai, 2023).

Retroalimentación y mejora continua del aprendizaje

La retroalimentación constituye un componente esencial de la evaluación del aprendizaje, especialmente en entornos digitales donde el estudiante interactúa de manera constante con herramientas como Chemical-3D. Una retroalimentación efectiva permite al estudiante identificar fortalezas, reconocer errores conceptuales y orientar sus esfuerzos hacia la mejora continua del aprendizaje. La literatura educativa destaca que la retroalimentación oportuna, específica y orientada a la tarea tiene un impacto significativo en la comprensión conceptual y el rendimiento académico en ciencias (Hattie y Timperley, 2020; Panadero et al., 2020).

Chemical-3D facilita la implementación de procesos de retroalimentación inmediata y personalizada, al permitir al docente observar las interacciones del estudiante con los modelos tridimensionales y analizar sus respuestas en actividades exploratorias. Esta retroalimentación puede centrarse en la interpretación correcta de estructuras químicas, la explicación de propiedades periódicas o la aplicación de conceptos teóricos en situaciones visuales. Estudios recientes indican que la retroalimentación basada en evidencias visuales favorece la comprensión profunda y la corrección de concepciones alternativas en química (Ainsworth, 2020; Stull et al., 2022).

Desde una perspectiva pedagógica, la retroalimentación en entornos digitales debe concebirse como un proceso continuo que acompañe al estudiante a lo largo de su aprendizaje. Chemical-3D permite integrar momentos de autoevaluación y coevaluación, en los que los estudiantes reflexionan sobre su propio desempeño y reciben aportes de sus pares. La investigación educativa señala que este enfoque promueve el aprendizaje autorregulado y fortalece la responsabilidad del estudiante sobre su proceso formativo (Panadero y Broadbent, 2021; Makrinsky et al., 2021).

La mejora continua del aprendizaje se ve favorecida cuando la retroalimentación se utiliza como insumo para ajustar las estrategias de enseñanza y aprendizaje. En este sentido, Chemical-3D ofrece información valiosa sobre las dificultades y avances del estudiantado, permitiendo al docente tomar decisiones pedagógicas fundamentadas. Estudios en educación secundaria destacan que el uso sistemático de

la retroalimentación mejora la efectividad de la enseñanza y contribuye a cerrar las brechas de aprendizaje en química (Dori & Belcher, 2023; Smetana y Bell, 2021).

La retroalimentación y la mejora continua del aprendizaje mediadas por Chemical-3D refuerzan una concepción formativa de la evaluación, centrada en el desarrollo progresivo de la comprensión química y de las competencias científicas. La evidencia científica respalda que este enfoque evaluativo mejora la calidad del aprendizaje, incrementa la motivación del estudiantado y fortalece la relación entre evaluación y enseñanza en entornos digitales de educación secundaria (Cheng y Tsai, 2023; Dori et al., 2023).



CAPÍTULO X

EXPERIENCIAS Y PROYECCIONES FUTURAS



Buenas prácticas en la enseñanza de la tabla periódica con Chemical-3D

Las buenas prácticas en la enseñanza de la tabla periódica mediante Chemical-3D se fundamentan en la integración pedagógica intencionada de la visualización tridimensional como mediadora del aprendizaje conceptual. La evidencia científica indica que el uso planificado de modelos 3D favorece la comprensión de la organización periódica, las tendencias químicas y la relación entre estructura atómica y propiedades, siempre que se articule con objetivos claros y actividades didácticas bien definidas. Estudios recientes destacan que las buenas prácticas no dependen únicamente de la tecnología, sino de la coherencia entre metodología, contenidos y evaluación en el aula de química (Gilbert, 2022; Dori & Belcher, 2023).

Una práctica efectiva consiste en utilizar Chemical-3D para introducir la tabla periódica desde un enfoque exploratorio, permitiendo que los estudiantes observen patrones tridimensionales y relaciones espaciales antes de abordar definiciones formales. Este enfoque inductivo favorece el aprendizaje significativo y reduce la fragmentación conceptual, al permitir que los estudiantes construyan explicaciones a partir de la observación y la interacción. Investigaciones en educación química señalan que esta estrategia mejora la comprensión de tendencias periódicas como el radio atómico y la electronegatividad (Sanger y Greenbowe, 2021; Wu y Shah, 2023).

Otra buena práctica se relaciona con la integración progresiva de Chemical-3D en diferentes momentos de la secuencia didáctica, no solo como recurso introductorio, sino también como herramienta de profundización y evaluación. El uso reiterado de visualizaciones tridimensionales permite reforzar conceptos, identificar errores conceptuales y consolidar el aprendizaje a largo plazo. La literatura reciente destaca que la repetición contextualizada de experiencias visuales fortalece la retención conceptual y la transferencia del conocimiento químico (Stull et al., 2022; Rau, 2022).

Asimismo, las buenas prácticas incluyen el diseño de actividades colaborativas apoyadas en Chemical-3D, donde los estudiantes analizan modelos tridimensionales en grupo, discuten observaciones y construyen explicaciones colectivas. Este enfoque

favorece el desarrollo de habilidades científicas y comunicativas, alineándose con los principios del constructivismo social. Estudios en educación secundaria evidencian que la combinación de visualización digital y aprendizaje colaborativo incrementa la motivación y la participación en la enseñanza de la tabla periódica (Ibáñez et al., 2023; Dori et al., 2023).

Una buena práctica fundamental es la reflexión pedagógica continua por parte del docente sobre el uso de Chemical-3D, evaluando su impacto en el aprendizaje y ajustando las estrategias metodológicas según las necesidades del estudiantado. La evidencia científica coincide en que la mejora continua de la práctica docente es clave para maximizar los beneficios de las tecnologías 3D en la enseñanza de la química. En este sentido, Chemical-3D se consolida como un recurso eficaz cuando se integra de manera crítica, reflexiva y pedagógicamente fundamentada (Makransky et al., 2021; Cheng y Tsai, 2023).

Limitaciones, retos y consideraciones éticas

A pesar de los beneficios pedagógicos asociados al uso de Chemical-3D, su implementación en la enseñanza de la química presenta diversas limitaciones y retos que deben ser considerados de manera crítica. Entre las principales limitaciones se encuentran las desigualdades en el acceso a dispositivos tecnológicos, conectividad a internet y recursos digitales adecuados, lo que puede generar brechas en el aprendizaje entre estudiantes. La literatura reciente advierte que la falta de infraestructura tecnológica constituye uno de los principales obstáculos para la integración equitativa de herramientas digitales en educación secundaria (Selwyn, 2021; UNESCO, 2023).

Otro reto relevante se relaciona con la formación docente para el uso pedagógico de tecnologías 3D. El dominio técnico de herramientas como Chemical-3D no garantiza por sí mismo su efectividad educativa, siendo necesaria una capacitación que integre aspectos didácticos, curriculares y evaluativos. Investigaciones en educación científica señalan que la ausencia de formación específica puede derivar en un uso superficial de la tecnología, limitando su impacto en la comprensión conceptual del alumnado (de Jong et al., 2021; Dori & Belcher, 2023).

Desde una perspectiva cognitiva, el uso de visualizaciones tridimensionales también puede generar sobrecarga cognitiva si no se diseñan actividades adecuadas al nivel del estudiantado. La complejidad visual y la cantidad de información presentada pueden dificultar la comprensión en lugar de facilitarla, especialmente en estudiantes con menor desarrollo del razonamiento espacial. Estudios recientes subrayan la importancia de un diseño instruccional cuidadoso para evitar efectos contraproducentes en el aprendizaje (Ainsworth, 2020; Rau, 2022).

En cuanto a las consideraciones éticas, el uso de Chemical-3D implica reflexionar sobre la protección de datos, la privacidad del estudiantado y el uso responsable de plataformas digitales. La recopilación de información sobre el desempeño y las interacciones de los estudiantes debe realizarse respetando principios éticos y normativas de protección de datos. La literatura educativa enfatiza que la ética digital debe ser un componente central en la integración de tecnologías educativas, promoviendo prácticas transparentes y responsables (OECD, 2021; UNESCO, 2023).

Otro desafío ético y pedagógico consiste en evitar la dependencia excesiva de la tecnología en detrimento del pensamiento crítico y la comprensión conceptual. Chemical-3D debe concebirse como un medio y no como un fin en sí mismo, complementando otras estrategias didácticas y fomentando la reflexión científica. La evidencia científica coincide en que un uso equilibrado y crítico de las tecnologías digitales es fundamental para garantizar una educación científica de calidad y socialmente responsable (Gilbert, 2022; Selwyn, 2021).

Proyecciones del uso de tecnologías 3D en la educación científica

Las proyecciones del uso de tecnologías 3D en la educación científica indican un crecimiento sostenido de estas herramientas como recursos clave para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. La visualización tridimensional, la realidad aumentada y la realidad virtual se perfilan como tecnologías con alto potencial para transformar la forma en que los estudiantes comprenden fenómenos complejos y abstractos. Estudios prospectivos en educación señalan

que estas tecnologías contribuirán a una enseñanza más inmersiva, personalizada y centrada en el estudiante (Makransky y Petersen, 2021; Cheng y Tsai, 2023).

En el ámbito de la educación química, las tecnologías 3D permitirán una representación cada vez más precisa de estructuras atómicas, moleculares y procesos químicos, facilitando la integración entre teoría y práctica. Herramientas como Chemical-3D se proyectan como plataformas clave para el desarrollo de laboratorios virtuales avanzados y simulaciones interactivas que complementen la experimentación tradicional. La literatura reciente destaca que estas proyecciones favorecen la democratización del acceso a experiencias científicas de alta calidad (de Jong et al., 2021; Dori et al., 2023).

Asimismo, el avance de las tecnologías 3D se vincula con el desarrollo de sistemas de aprendizaje adaptativo, capaces de ajustar los contenidos y las actividades según el nivel de comprensión y progreso del estudiante. Estas proyecciones apuntan a una educación científica más inclusiva y personalizada, donde las visualizaciones tridimensionales se adapten a las necesidades cognitivas individuales. Investigaciones recientes subrayan que la combinación de tecnologías 3D y analítica de aprendizaje puede mejorar significativamente los resultados educativos (Cheng et al., 2020; Ponce y Mayer, 2023).

Desde una perspectiva pedagógica, las proyecciones futuras enfatizan la necesidad de integrar las tecnologías 3D dentro de modelos educativos híbridos, que combinen la enseñanza presencial y digital de manera coherente. Chemical-3D se proyecta como un recurso clave en estos modelos, al facilitar la continuidad del aprendizaje dentro y fuera del aula. La literatura educativa coincide en que estos enfoques híbridos potenciarán la flexibilidad y resiliencia de los sistemas educativos (Makransky et al., 2021; Selwyn, 2021).

Finalmente, las proyecciones del uso de tecnologías 3D en la educación científica destacan la importancia de una integración ética, crítica y pedagógicamente fundamentada. El futuro de la educación química dependerá no solo del avance tecnológico, sino de la capacidad de los docentes y las instituciones para utilizar estas herramientas de manera reflexiva y orientada al aprendizaje significativo. La evidencia científica respalda que, bajo estas condiciones, las tecnologías 3D contribuirán de forma decisiva a la

mejora de la calidad y equidad de la educación científica (Gilbert, 2022; UNESCO, 2023).

CONCLUSIONES

La educación científica contemporánea enfrenta el desafío de formar estudiantes capaces de comprender, analizar y aplicar conocimientos químicos en contextos cada vez más complejos y tecnológicamente mediados. En este capítulo se evidencia que la enseñanza de la química en educación secundaria requiere enfoques pedagógicos renovados que superen la transmisión memorística de contenidos y favorezcan la comprensión conceptual profunda. Asimismo, se reconoce que las dificultades en la comprensión de la tabla periódica y otros conceptos abstractos demandan estrategias didácticas innovadoras que respondan a las características cognitivas de los adolescentes y a las exigencias del siglo XXI.

Los fundamentos teóricos analizados confirman que el aprendizaje de la química se ve fortalecido cuando se sustenta en enfoques constructivistas y en el aprendizaje significativo, los cuales permiten al estudiante construir activamente su conocimiento. La visualización científica emerge como un recurso clave para facilitar la comprensión conceptual, especialmente en contenidos abstractos, mientras que el desarrollo de competencias científicas contribuye al fortalecimiento del pensamiento abstracto y crítico en los adolescentes. Este capítulo reafirma la necesidad de articular teoría pedagógica y práctica didáctica en la enseñanza de la química.

La tabla periódica se consolida como un eje estructurante fundamental para la comprensión de la química, al integrar aspectos históricos, científicos y conceptuales que explican el comportamiento de los elementos. El análisis realizado evidencia que, pese a su relevancia, los modelos tradicionales de enseñanza presentan limitaciones significativas para promover una comprensión profunda de su organización y propiedades periódicas. En consecuencia, se destaca la necesidad de replantear las estrategias didácticas empleadas para su

enseñanza, incorporando recursos que faciliten la comprensión relacional y conceptual.

Las tecnologías educativas aplicadas a la enseñanza de las ciencias representan una oportunidad estratégica para transformar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la química. La integración de TIC, TAC y TEP, junto con recursos digitales interactivos y tecnologías emergentes como la realidad aumentada y el modelado 3D, permite enriquecer la experiencia educativa y favorecer el aprendizaje activo. Este capítulo evidencia que el uso pedagógico de la tecnología, cuando está alineado con objetivos curriculares claros, contribuye significativamente a mejorar la comprensión científica en educación secundaria.

El análisis de los fundamentos conceptuales y tecnológicos de Chemical-3D demuestra que esta herramienta ha sido diseñada con un propósito educativo claro, orientado a facilitar la comprensión de conceptos químicos complejos. Sus principios de modelado tridimensional y sus funcionalidades interactivas permiten representar de manera dinámica estructuras atómicas y propiedades químicas, constituyéndose en un recurso didáctico innovador. Este capítulo concluye que Chemical-3D ofrece una base sólida para su integración pedagógica en la enseñanza de la química.

Chemical-3D se consolida como una herramienta didáctica eficaz al permitir la representación tridimensional de elementos y estructuras atómicas, así como la exploración interactiva de propiedades periódicas. La vinculación entre teoría química y visualización 3D facilita la reducción de la abstracción y fortalece la comprensión conceptual del estudiantado. Este capítulo concluye que el uso didáctico de Chemical-3D favorece un aprendizaje más significativo, dinámico y contextualizado de los contenidos químicos.

Las estrategias metodológicas analizadas evidencian que la efectividad de Chemical-3D depende en gran medida de su

integración curricular y del diseño de actividades basadas en la exploración y el descubrimiento. Asimismo, se destaca la transformación del rol del docente y del estudiante en entornos digitales, promoviendo una enseñanza centrada en el aprendizaje activo. Este capítulo concluye que una planificación metodológica adecuada es esencial para maximizar el impacto pedagógico de las tecnologías 3D en la educación secundaria.

El impacto pedagógico de Chemical-3D se manifiesta en una mejora significativa de la comprensión conceptual, la motivación y la participación del estudiantado. La reducción de la abstracción y el fomento del aprendizaje activo contribuyen al desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas clave. Este capítulo concluye que el uso sistemático de Chemical-3D potencia el aprendizaje de la química y fortalece competencias esenciales para la formación científica integral.

La evaluación del aprendizaje mediado por Chemical-3D permite adoptar enfoques formativos y sumativos más coherentes con los procesos de aprendizaje en entornos digitales. El uso de indicadores de desempeño y la retroalimentación continua favorecen la mejora progresiva de la comprensión química. Este capítulo concluye que la evaluación apoyada en herramientas digitales tridimensionales contribuye a una valoración más auténtica, formativa y orientada al aprendizaje significativo.

Las experiencias analizadas demuestran que el uso de Chemical-3D en la enseñanza de la tabla periódica constituye una buena práctica pedagógica cuando se implementa de manera reflexiva y contextualizada. No obstante, se reconocen limitaciones, retos y consideraciones éticas que deben ser abordados para garantizar una integración equitativa y responsable. Finalmente, las proyecciones futuras evidencian que las tecnologías 3D tienen un alto potencial para transformar la educación científica, siempre que su uso esté guiado por

principios pedagógicos sólidos y una visión crítica de la innovación educativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ainsworth, S. (2020). Learning by drawing and visualisation: The role of external representations in science education. *Educational Psychology Review*, 32(4), 873–897. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09545-0>
- Akaygun, S., & Jones, L. L. (2021). Exploring students' understanding of atomic structure through interactive visualizations. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 764–772. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01015>
- Biggs, J., & Tang, C. (2020). Teaching for quality learning at university: What the student does. *Higher Education Research & Development*, 39(6), 1171–1173. <https://doi.org/10.1080/07294360.2020.1799954>
- Black, P., & Wiliam, D. (2020). Classroom assessment and pedagogy. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 27(1), 1–25. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2019.1571992>
- Brookhart, S. M. (2021). Using formative assessment to improve student learning. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 40(1), 4–13. <https://doi.org/10.1111/emip.12350>
- Coduto, J. R., Lazicki, A., & Leddy, J. (2023). Visualizing three-dimensional objects in chemistry education: Implications for conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 100(1), 77–87. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00821>
- Cooper, M. M., & Stowe, R. L. (2021). Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical Reviews*, 121(8), 4650–4680. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00789>
- Chang, R., & Goldsby, K. (2021). *Chemistry* (13th ed.). McGraw-Hill Education.
- Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2023). Students' learning performance and motivation in immersive 3D visualization environments for science education. *Computers & Education*, 192, 104656. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104656>
- Chittleborough, G. (2020). The role of visualization in learning chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(3), 723–735. <https://doi.org/10.1039/C9RP00167F>

- Chowdhury, P. (2022). Learners' misconceptions in the periodic table: An analysis of cognitive skills development. *Universal Journal of Educational Research*, 10(1), 57–66. <https://doi.org/10.13189/ujer.2022.100106>
- De Jong, T., & van Joolingen, W. R. (2022). Designing simulations for conceptual learning in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(1), 45–67. <https://doi.org/10.1002/tea.21714>
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2021). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Dori, Y. J., & Belcher, J. W. (2023). How technology-enhanced visualizations improve conceptual understanding in science education. *International Journal of Science Education*, 45(4), 321–340. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2165981>
- Dori, Y. J., Tal, R. T., & Peled, Y. (2023). Assessment of scientific understanding in technology-enhanced learning environments. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 45–58. <https://doi.org/10.1039/D2RP00192G>
- Eilam, B., & Gilbert, J. (2023). The significance of visual representations in science education: A cognitive perspective. *International Journal of Science Education*, 45(6), 465–484. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2180217>
- Eilam, B., & Poyas, Y. (2023). Learning through visual representations in science: Cognitive and metacognitive perspectives. *Learning and Instruction*, 85, 101728. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101728>
- Georgiou, Y., & Kyza, E. A. (2023). Fostering chemistry students' scientific literacy for responsible citizenship through socio-scientific inquiry-based learning. *Sustainability*, 15(8), 6442. <https://doi.org/10.3390/su15086442>
- Gilbert, J. (2021). Visualization in science education: Models, metaphors, and learning. *Science Education*, 105(6), 1097–1115. <https://doi.org/10.1002/sce.21674>
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2021). Multiple representations, assessment and learning in chemistry education. *Chemistry*

- Education Research and Practice*, 22(1), 1–5.
<https://doi.org/10.1039/DoRP00266A>
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2021). Multiple representations and active learning in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(1), 1–5.
<https://doi.org/10.1039/DoRP00266A>
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2020). Development of students' representational competence through 3D models in chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 29(2), 216–228. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09809-2>
- Hattie, J., & Donoghue, G. (2020). Learning strategies: A synthesis and conceptual model. *NPJ Science of Learning*, 5(1), 19.
<https://doi.org/10.1038/s41539-020-00085-3>
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., & Delgado-Kloos, C. (2023). Active learning and motivation in digital science environments. *Computers & Education*, 194, 104679.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104679>
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2020). Models and modelling in science education: Theory and practice. *Studies in Science Education*, 56(2), 183–204.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1768988>
- Kozma, R., & Russell, J. (2021). Students becoming chemists: Developing representational competence. *Science Education*, 105(4), 601–629. <https://doi.org/10.1002/sce.21644>
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). Immersive virtual reality and learning assessment: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937–964.
<https://doi.org/10.1007/s10648-020-09540-5>
- Matthews, M. R. (2020). *History, philosophy and science teaching: New research perspectives*. Springer.
- Mayer, R. E. (2020). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Mercer, N., Wegerif, R., & Major, L. (2020). The role of dialogue in developing scientific reasoning. *Educational Research*

- Mhlongo, T. T., & Sedumedi, T. D. (2023). Evaluation of the periodic table as a teaching tool for conceptual change in chemical processes. *Journal of Science Education*, 4(1), 14–31. <https://doi.org/10.56003/jse.v4i1.267>
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded ed.). Basic Books.
- Núñez, J., Solano, P., González-Pienda, J., & Rosário, P. (2021). Self-regulated learning and academic achievement in secondary education. *Frontiers in Psychology*, 12, 657. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.657>
- OECD. (2021). Digital education outlook 2021: Pushing the frontiers with AI, blockchain and robots. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>
- OECD. (2023). *PISA 2025 science framework*. OECD Publishing.
- Osborne, J. (2021). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(6), 765–789. <https://doi.org/10.1002/tea.21648>
- Panadero, E., & Broadbent, J. (2021). Developing self-regulated learners through feedback and assessment. *Educational Psychology Review*, 33(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09564-x>
- Panadero, E., Andrade, H., & Brookhart, S. (2020). Fusing self-regulated learning and formative assessment. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 27(4), 367–387. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2020.1763695>
- Pernaa, J., & Aksela, M. (2020). Conceptual understanding of chemical periodicity through interactive learning environments. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(2), 458–472. <https://doi.org/10.1039/C9RP00143E>
- Ponce, H. R., & Mayer, R. E. (2023). Learning science with visualizations: Cognitive and metacognitive perspectives. *Educational Psychology Review*, 35(1), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09671-3>

- Prieto, M., Navarro, J., & López, R. (2023). Evaluación formativa y aprendizaje significativo en ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 25, e25. <https://doi.org/10.24320/redie.2023.25.e25>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education. *Education and Information Technologies*, 25(6), 4957–4980. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10187-3>
- Rau, M. (2022). Conditions for effective visual learning in science. *Educational Psychology Review*, 34(2), 765–797. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09630-4>
- Ripsam, M., Yuliani, H., & Kuswanto, H. (2024). Augmented reality for chemistry education to promote the use of chemical terminology in teacher training. *Frontiers in Psychology*, 15, 1392529. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1392529>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2022). Learning effects of interactive simulations in science education. *Computers & Education*, 179, 104403. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104403>
- Sang, G., Liang, J., & Tsai, C. (2022). Inquiry-based learning and students' conceptual understanding in science education. *Research in Science Education*, 52(4), 1173–1191. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09949-6>
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (2021). Active learning strategies and conceptual understanding in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 98(1), 1–7. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01204>
- Santos, G., & Greca, I. (2021). Visualización y aprendizaje conceptual en química: Un estudio en educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 2203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2203
- Scerri, E. R. (2020). *The periodic table: Its story and its significance* (2nd ed.). Oxford University Press.

- Selwyn, N. (2021). *Education and technology: Key issues and debates* (2nd ed.). Bloomsbury Academic.
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2021). Computer simulations and assessment in inquiry-based science learning. *International Journal of Science Education*, 43(3), 393–414. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1869884>
- Stieff, M., & Uttal, D. H. (2015). How much hard work do visualizations save students in STEM? *Journal of Educational Psychology*, 107(3), 427–441. <https://doi.org/10.1037/a0038925>
- Stull, A. T., Gainer, M. J., Padalkar, S., & Hegarty, M. (2022). Assessing learning with multiple representations in science. *Learning and Instruction*, 77, 101505. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101505>
- Suparman, A. R., Rohaeti, E., & Wening, S. (2024). Student misconceptions in chemistry: A systematic literature review. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 14(2), 238–252. <https://doi.org/10.47750/pegegog.14.02.28>
- Taber, K. (2020). Constructivism in chemistry education: A review of implications for teaching and learning. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(2), 327–341. <https://doi.org/10.1039/C9RP00120F>
- UNESCO. (2023). *Guidance on generative AI in education and research*. <https://unesdoc.unesco.org>
- Valdiviezo, H. C., Paredes, M. E., & Cedeño, L. A. (2023). Recreaciones científicas para favorecer el aprendizaje de la tabla periódica en estudiantes de secundaria. *Revista Educación en Ciencias*, 7(2), 45–58.
- Wan, D., Lee, Y. J., Chen, S., & Yu, Q. (2024). How scientific literacy is conceptualized in tasks from junior secondary science textbooks. *International Journal of Science Education*, 46(3), 401–421. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2429045>
- Wu, H. K., & Shah, P. (2023). Assessing visuospatial thinking in science education. *Educational Psychologist*, 58(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/00461520.2022.2154957>

- Yamtinah, S., Mulyani, S., & Ashadi. (2023). Augmented reality learning media based on tetrahedral chemical representation: Effectiveness in chemistry learning. *European Journal of Mathematics and Science Education*, 9(2), 112–124.
- Yore, L., Hand, B., & Florence, M. (2020). Scientists' views of scientific literacy. *International Journal of Science Education*, 42(9), 1479–1503.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1768030>
- Zimmerman, C. (2020). Development of scientific reasoning skills in adolescence. *Journal of Educational Psychology*, 112(4), 793–809. <https://doi.org/10.1037/edu0000407>

BIOGRAFÍA DE AUTORES



Rosa Ximena Montalvo Murillo



Viviana de los Ángeles Carlosama Sánchez



Carmen Rocío Carlosama Sánchez



Adriana Vanessa Chicaiza Hermosa



Susana Georgina Inuca Chicaiza



Luis Fernando Perugachi Arias

BIOGRAFÍA DE AUTORES



Esthela Beatriz Sanipatín Ibadango



Javier Armando Vega Tulcanazo



Tatiana Maribel Jaramillo Valarezo



María Elena Limaico Pillajo



Stefanny María Sanipatín Jaramillo



Jesús Gabriel Amaguaña Vega

BIOGRAFÍA DE AUTORES

Rosa Ximena Montalvo Murillo

Doctora en Ciencias de la Educación mención Currículo

rosa.montalvo@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0004-7080-6306>

Viviana de los Ángeles Carlosama Sánchez

Magíster en Educación mención en Gestión del Aprendizaje mediado por TIC

vivianacarlosama76@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-1314-0713>

Carmen Rocío Carlosama Sánchez

Magíster en Educación mención en Gestión del Aprendizaje mediado por TIC

carmenc1904@hotmail.es

<https://orcid.org/0009-0002-2666-9418>

Adriana Vanessa Chicaiza Hermosa

Magíster en Pedagogía mención en Currículo

adriana.chicaiza@docentes.educacion.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-4453-1557>

Susana Georgina Inuca Chicaiza

Profesor de Educación Primaria - Nivel Tecnológico

susana.inuca@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0008-8598-7794>

Luis Fernando Perugachi Arias

Magíster en Innovación Educativa

lfernando.perugachi@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0005-0152-1363>

Esthela Beatriz Sanipatín Ibadango

Magíster en Educación

esthela.sanipatin@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0008-2312-378X>

Javier Armando Vega Tulcanazo

Magíster en Educación

armando.vega@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0000-6214-0728>

BIOGRAFÍA DE AUTORES

Tatiana Maribel Jaramillo Valarezo

Magíster en Educación Básica
tatiana.jaramillo@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/0009-0001-5651-9333>

María Elena Limaico Pillajo

Maestría en Didáctica de la Historia, Geografía y Ciencias Políticas
maria.limaico@docentes.educacion.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-6163-5245>

Stefanny María Sanipatín Jaramillo

Tecnóloga Superior en Desarrollo Infantil Integral
stefannys304@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-8286-5843>

Jesús Gabriel Amaguaña Vega

Licenciado en Pedagogía del Idioma Inglés
gabrieljesua@hotmail.es
<https://orcid.org/0009-0006-1089-576X>

CHEMICAL-3D COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA:

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA COMPRENSIÓN DE LA TABLA PERIÓDICA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

H																					He
Li	Be											B	C	N	O	F					Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl					Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br					Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I					Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At					Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts					Og
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					

La obra Chemical-3D como herramienta educativa: innovación tecnológica para la comprensión de la Tabla Periódica en Educación Secundaria presenta un enfoque innovador para la enseñanza de la Química mediante el uso de realidad aumentada y herramientas digitales interactivas. Su objetivo es facilitar la comprensión de la Tabla Periódica, transformando conceptos abstractos en experiencias de aprendizaje significativas y motivadoras para los estudiantes de Educación Secundaria. El texto integra teorías del aprendizaje como el aprendizaje significativo y el aprendizaje multimedia, mostrando cómo la tecnología potencia la creatividad, la interacción y la autonomía del estudiante. A partir de un estudio riguroso, se demuestra que Chemical-3D mejora la comprensión conceptual, la participación en clase y la retención del conocimiento. Esta obra constituye un recurso valioso para docentes, investigadores y gestores educativos interesados en la innovación pedagógica, ofreciendo estrategias prácticas y fundamentadas que promueven la enseñanza activa, interactiva y adaptada a los retos de la educación del siglo XXI.



ISBN: 978-9942-7490-0-0

