

Diseño e implementación de una secuencia didáctica con la implementación de open IA GPT-4 para el aprendizaje de estructuras geométricas de la cristalografía.

Sergio Andrés Sanchez Cortes  
Estudiante Licenciatura en Química  
Proyecto de trabajo de Grado II

Pedro Nel Zapata Castañeda  
Director

Universidad Pedagógica Nacional  
Departamento de Química  
Licenciatura en Química

## 1. Dedicatoria

Dedico este trabajo a quienes han sido mi raíz y mi horizonte. A mis padres, por su amor sin condiciones, por enseñarme que la perseverancia se construye en el día a día y por confiar en mis pasos incluso cuando yo mismo dudaba. A mis abuelos, cuya historia es semilla de la mía, por su fortaleza y ternura, por enseñarme que la sabiduría también habita en la calidez y sencillez de las acciones más pequeñas. A mis hermanos, compañeros de vida y de aprendizajes compartidos, por cada conversación, cada gesto y cada aliento que dejaron en mi un aprendizaje invaluable y sumamente importante. A mi pareja, por su paciencia infinita, su dedicación y sentir, por sostener mis incertidumbres y celebrar cada logro como si fuera suyo. Y a Orión, quien con su compañía silenciosa y su presencia constante me recordó que incluso en los momentos más tensos, hay espacio para la calma y el afecto.

## 2. Agradecimientos

Agradezco primero a **Dios**, por darme la fuerza, la claridad y la constancia necesarias para llegar hasta este momento. Por acompañarme incluso en el silencio, y por recordarme siempre que todo tiene un propósito. A la **Universidad Pedagógica Nacional**, por ser más que un lugar de formación: un espacio de descubrimiento, reflexión y crecimiento personal. A mis **docentes**, por compartir no solo conocimientos, sino también principios, exigencia y pasión por enseñar. Cada uno dejó huella en este proceso. Y a mis **compañeros y compañeras de carrera**, por los debates, las risas, los retos compartidos y el apoyo mutuo que hicieron de este camino una experiencia más humana y significativa.

## Índice de contenido

1. Dedicatoria .....	2
2. Agradecimientos .....	2
Índice de contenido .....	3
3. Nota.....	7
4. Introducción.....	8
5. Justificación .....	10
6. Antecedentes de investigación .....	12
6.1. Antecedentes internacionales .....	12
6.2. Antecedentes Nacionales .....	16
7. Problema .....	21
8. Pregunta de investigación.....	22
9. Objetivo General .....	23
10. Objetivos Específicos.....	23
11. Marco teórico .....	24
11.1. La realidad aumentada en la educación.....	24
11.2. Modelo pedagógico con relación a la IA .....	25
11.3. Modelos de enseñanza-aprendizaje con relación a la IA .....	27
11.4. Modelo sistemático de la enseñanza y el uso de IA en el aula .....	27
11.5. Chatsbots.....	29
11.6. E-Learning.....	30
12. Marco disciplinar .....	32
12.1. Redes cristalinas .....	32
12.2. Índice de coordinación .....	32
12.3. Tipos de empaquetamientos.....	33
13. Metodología .....	34
13.1. Metodología de investigación cuantitativa .....	34
13.2. Diseño de la investigación pre-test estrategia post-test .....	35
13.3. Etapas.....	37
13.4. Población de estudio.....	39
14. Análisis y discusión de resultados.....	40
14.1. Pre-test.....	40
14.2. Implementación.....	42

14.2.1.	Sesión 2 – Empaquetamiento atómico .....	43
14.2.2.	Sesión 3 – Número de coordinación .....	44
14.2.3.	Sesión 4 – Celda unidad .....	44
14.2.4.	Sesión 5 – Espacio de discusión y práctica integradora .....	45
14.3.	Post-test .....	46
14.3.1.	Pregunta 1 .....	48
14.3.2.	Pregunta 2 .....	49
14.3.3.	Pregunta 3 .....	50
14.3.4.	Pregunta 4 .....	52
14.3.5.	Pregunta 5 .....	53
14.3.6.	Pregunta 6 .....	54
14.3.7.	Pregunta 7 .....	55
14.3.8.	Pregunta 8 .....	57
14.3.9.	Pregunta 9 .....	58
14.3.10.	Pregunta 10 .....	59
14.3.11.	Pregunta 11 .....	60
14.3.12.	Pregunta 12 .....	61
15.	Conclusiones y sugerencias .....	64
15.1.	Conclusiones.....	64
15.2.	Recomendaciones.....	64
16.	Referencias bibliograficas.....	66

## Índice de Gráficas

Gráfica 1 Pre-test puntuación por estudianta.....	41
Gráfica 2 Pre-test puntaje por pregunta.....	42
Gráfica 3 Post-test puntaje por estudiante.....	47
Gráfica 4 Post-test puntaje por pregunta.....	47
Gráfica 5 Pregunta 1 (Pre-test).....	48
Gráfica 6 Pregunta 1 (Post-test).....	48
Gráfica 7 Pregunta 2 (Pre-test).....	49
Gráfica 8 Pregunta 2 (Post-test).....	49
Gráfica 9 Pregunta 3 (Pre-test).....	50
Gráfica 10 Pregunta 3 (Post-test).....	51
Gráfica 11 Pregunta 4 (Pre-test).....	52
Gráfica 12 Pregunta 4 (Post-test).....	52
Gráfica 13 Pregunta 5 (Pre-test).....	53
Gráfica 14 Pregunta 5 (Post-test).....	53
Gráfica 15 Pregunta 6 (Pre-test).....	54
Gráfica 16 Pregunta 6 (Post-test).....	54
Gráfica 17 Pregunta 7 (Pre-test).....	55
Gráfica 18 Pregunta 7 (Post-test).....	56
Gráfica 19 Pregunta 8 (Pre-test).....	57
Gráfica 20 Pregunta 8 (Post-test).....	57
Gráfica 21 Pregunta 9 (Pre-test).....	58
Gráfica 22 Pregunta 9 (Post-test).....	58
Gráfica 23 Pregunta 10 (Pre-test).....	59
Gráfica 24 Pregunta 10 (Post-test).....	59
Gráfica 25 Pregunta 11 (Pre-test).....	60
Gráfica 26 Pregunta 11 (Post-test).....	60
Gráfica 27 Pregunta 12 (Pre-test).....	61
Gráfica 28 Pregunta 12 (Post-test).....	61
Gráfica 29 Comparación Pre-test vs Post-test.....	62

## **Índice de Ilustraciones**

Ilustración 1 Evidencia sesión 2 .....	43
Ilustración 2 Evidencia sesión 3 .....	44
Ilustración 3 Evidencia sesión 4 .....	45
Ilustración 4 Evidencia sesión 5 .....	46

## **Diseño e implementación de una secuencia didáctica con la implementación de open IA GPT-4 para el aprendizaje de estructuras geométricas de la cristalografía.**

### **3. Nota**

En el proceso de construcción de este trabajo de grado, se hizo uso de herramientas de inteligencia artificial, en particular ChatGPT, como apoyo en la redacción de los distintos apartados. Esta herramienta fue utilizada para enriquecer el lenguaje académico, mejorar la coherencia textual y afinar la expresión de ideas complejas. A través de sus sugerencias estilísticas y estructurales, se logró articular de manera más clara y precisa los fundamentos teóricos, los planteamientos metodológicos y los análisis derivados de los resultados obtenidos. En ningún momento la inteligencia artificial reemplazó el juicio crítico del autor ni la elaboración propia del contenido investigativo.

Su integración en el proceso de escritura se realizó con criterio reflexivo y bajo supervisión constante, reconociendo su valor como recurso complementario para optimizar la presentación del texto. Esta asistencia permitió que el documento final tuviera mayor fluidez argumentativa y claridad expositiva, contribuyendo a que el mensaje académico se transmitiera de forma más efectiva. Así, el uso de la inteligencia artificial se entiende como parte de una estrategia pedagógica y tecnológica que apoya, pero no sustituye, el pensamiento analítico ni la autoría intelectual del investigador.

#### 4. **Introducción**

En la química, la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía representa un área fundamental, pero también altamente compleja. Esta dificultad radica tanto en la naturaleza tridimensional de los contenidos como en la escasez de estrategias pedagógicas efectivas que permitan abordar estos temas de manera clara, significativa y duradera. Conceptos como las redes cristalinas, los empaquetamientos de átomos y la interpretación espacial suelen generar confusión entre los estudiantes, lo que limita el desarrollo de habilidades de visualización y razonamiento estructural.

Ante este panorama, las tecnologías emergentes, como los chatbots basados en inteligencia artificial, se posicionan como herramientas potencialmente transformadoras en el ámbito educativo. Estas plataformas, que permiten la interacción conversacional en lenguaje natural, se han consolidado como instrumentos pedagógicos que ofrecen explicaciones inmediatas, adaptadas al ritmo de aprendizaje de cada estudiante, y favorecen procesos de autoevaluación y autonomía cognitiva. En este sentido, la inteligencia artificial no busca reemplazar al docente, sino complementar y fortalecer la enseñanza mediante nuevos lenguajes y formas de acceso al conocimiento.

El presente trabajo de grado tiene como propósito analizar el efecto de una secuencia didáctica mediada por un chatbot en el aprendizaje de las estructuras geométricas de la cristalografía en estudiantes de grado once del Colegio María Mercedes Carranza. La propuesta parte de una investigación con enfoque cuantitativo y diseño pre-experimental, donde se aplicó un pre-test diagnóstico, se desarrolló la intervención pedagógica con el chatbot, y finalmente se evaluó el impacto a través de un post-test, lo cual permitió comparar el rendimiento académico antes y después de la intervención.

Este estudio se estructura en varios capítulos: una justificación que expone la relevancia del uso de IA en contextos educativos; un marco teórico que establece los fundamentos pedagógicos, tecnológicos y disciplinares de la propuesta; una metodología detallada que guía la aplicación del diseño; y un análisis riguroso de los resultados. La intención es ofrecer una propuesta que articule los saberes disciplinares de la química con las posibilidades de la inteligencia artificial, proponiendo un modelo didáctico innovador, reflexivo y adaptable.

A través de esta investigación, se espera no solo evidenciar mejoras en la comprensión de contenidos cristalográficos, sino también abrir el camino hacia nuevas estrategias educativas que incorporen tecnologías disruptivas de manera ética, pedagógica y efectiva. Este trabajo busca aportar una alternativa metodológica concreta que dé respuesta a las necesidades actuales de enseñanza en ciencias, alineadas con los retos del siglo XXI.

## 5. Justificación

En el ámbito educativo donde la inteligencia artificial (IA) se está implementando cada vez más en el contexto de la enseñanza, es fundamental conocer y considerar las implicaciones que podría conllevar el uso de estos instrumentos en la educación. La capacidad de los chatbots para proporcionar respuestas instantáneas y personalizadas puede transformar la forma en cómo se interactúa (los estudiantes) con el entorno (contenido), permitiendo un aprendizaje más dinámico y adaptado a las necesidades individuales de cada uno de los estudiantes. Sin embargo, el uso de estos instrumentos no está alejado de los riesgos; es crucial que los docentes evalúen la calidad y precisión de la información que estos instrumentos ofrecen, ya que las estructuras geométricas de la cristalografía, con su complejidad y especificidad, requiere un enfoque más riguroso y fundamentado en su enseñanza respaldado en la evidencia

Inicialmente, los chatbots tienen como función facilitar el acceso a la información y los recursos educativos de manera inmediata. Esto les permite a los estudiantes resolver dudas sobre los conceptos más complejos de las estructuras geométricas de la cristalografía de forma autónoma, lo cual promueve un aprendizaje personalizado y a su propio ritmo (Numa-Sanjuán et al., 2024, p55). La interacción con este instrumento puede fomentar entre otras cosas curiosidad e interés por la materia o la temática en particular, lo cual es vital para el desarrollo de habilidades críticas en los estudiantes. Sin embargo, como se menciona en el trabajo de Sarrazola, es importante que los educadores supervisen estas interacciones, ya que los chatbots pueden presentar errores sutiles que podrían llevar a imprecisiones, errores conceptuales o algunos malentendidos sobre el tema.

Por otro lado, el uso de chatbots puede contribuir a la apropiación de conceptos teóricos. Al interactuar con este tipo de instrumentos como lo podrían ser los chatbots, los estudiantes tienen la oportunidad de contrastar la información brindada por el chatbot con sus propios conocimientos previos, lo que les permite filtrar y evaluar la veracidad de la información proporcionada por el chatbot. Este proceso de análisis crítico es esencial en la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía, donde la comprensión de conceptos es fundamental. La capacidad de los estudiantes para diferenciar entre información relevante y redundante se convierte en una habilidad clave que deben desarrollar (Sarrazola-Alzate, 2022, p6).

Otros aspectos por considerar es el rol del docente en este nuevo paradigma educativo. Aunque los chatbots pueden actuar como asistentes a los procesos de enseñanza aprendizaje, el profesor sigue siendo fundamental para guiar a los estudiantes en la interpretación y contextualización de la información (Delgado-Rodríguez et al., 2023, p5). El trabajo en equipo entre los docentes y las inteligencias artificiales es esencial para asegurar que los estudiantes no solo accedan a la información precisa, sino que también desarrollen habilidades críticas y éticas en su uso.

No obstante, existe un riesgo asociado con la utilización de chatbots en el aula de clase. Uno de los principales desafíos es la posibilidad de que los estudiantes se enfrenten a información incorrecta o incompleta. Según (Palacios et al., 2022, p16) es esencial que los educadores establezcan un marco ético y unas directrices claras para el uso de estas tecnologías, promoviendo valores y principios de integridad académica. Esta consideración es especialmente relevante en disciplinas científicas, donde la precisión de la información es una parte esencial en el aprendizaje efectivo

## 6. Antecedentes de investigación

### 6.1. Antecedentes internacionales

Autor	Síntesis
(De Almeida & Dos Santos, 2021)	<p>En la investigación llevada a cabo por Wallace Carrico, se exploraron las posibilidades de usar los chatbots como instrumento de aprendizaje en el ámbito educativo. En este trabajo se realizó un análisis teórico y práctico sobre la implementación de un chatbot específico, el cual tiene como nombre “Reglus”, diseñado para facilitar el aprendizaje en red. La investigación se llevó a cabo en un entorno académico, donde se evaluaron las interacciones de los estudiantes con el chatbot y su impacto en el proceso de enseñanza aprendizaje. Mediante esta experiencia, se buscó comprender cómo los chatbots pueden ser un apoyo a los docentes, y cómo este y otros instrumentos pueden ser llevados al aula para fomentar un aprendizaje más dinámico y colaborativo.</p> <p>Las conclusiones a las que se llegó en esta investigación indicaron que los chatbots pueden ser efectivos para mejorar la participación de los estudiantes y facilitar el acceso a la información. Además, se menciona la importancia de adaptar estas herramientas a las necesidades específicas de los estudiantes para maximizar su efectividad. Esta investigación aporta de manera significativa ya que se presenta un marco teórico y metodológico que respalda la implementación de chatbots para los ámbitos educativos, ofreciendo un modelo sobre las implicaciones pedagógicas de este tipo de instrumentos</p>
(Delgado-Rodríguez et al., 2023)	<p>Los investigadores Santiago Delgado-Rodríguez, junto a Rebeca García-Fandiño y Silvia Carrascal-Domínguez indagaron sobre el uso de tecnologías inmersivas e inteligencias artificiales (IA) para mejorar la atención a la inclusión, equidad y diversidad en un entorno educativo. Para esta investigación plantean objetivos relevantes tales como analizar cómo estas tecnologías pueden facilitar el aprendizaje de estudiantes con diferentes necesidades. El estudio se realizó en centros educativos específicos, utilizando una estrategia tanto cualitativa como cuantitativa, las cuales permiten evaluar y medir la efectividad de las herramientas implementadas en la misma.</p> <p>Este estudio se centró en la implementación de una metodología que integraba la realidad aumentada (RA) y la inteligencia artificial en los espacios académicos. Para ello, se diseñaron diversas actividades educativas que permitieron observar el impacto de estos nuevos instrumentos en el desarrollo de habilidades de los estudiantes. A través de encuestas y entrevistas, los investigadores recopilaron información sobre las percepciones de los docentes y estudiantes respecto a los resultados que percibían con relación a estos instrumentos en la mejora de la atención a la diversidad y la inclusión.</p> <p>A través de esta investigación los autores llegan a unas conclusiones principales que plantean que las tecnologías inmersivas y la IA pueden ser adecuadas para promover un aprendizaje más inclusivo y equitativo. Por otra parte, también identificaron desafíos, como la necesidad de garantizar las condiciones adecuadas para acceder a este tipo de instrumentos de forma adecuada, sin importar su contexto sociodemográfico. Los autores sugieren que es de vital importancia desarrollar políticas educativas que aborden las brechas digitales y se aseguren que todos los estudiantes tengan acceso a los diferentes recursos tecnológicos para maximizar los beneficios de la IA en la educación.</p>
(Estrada-Araoz et al., 2024)	Edwin Estrada realizó una investigación para determinar el rol de las IAs en la educación, centrándose en cómo estas tecnologías pueden transformar los procesos de enseñanza aprendizaje. El objetivo de su estudio

	<p>fue analizar las oportunidades y desafíos que presenta la implementación de la IA en los diversos espacios académicos. Esta investigación se basó en un enfoque teórico el cual revisó en la literatura disponible sobre el uso de la IA en contextos educativos y sus implicaciones en la pedagogía actual.</p> <p>Este estudio destacó que la IA tiene la capacidad de personalizar el aprendizaje, adaptándose a las necesidades individuales de los estudiantes y facilitando un acceso más equitativo a recursos educativos. Sin embargo, también se identifican algunas preocupaciones éticas y prácticas, como la necesidad de garantizar la privacidad de los datos de los estudiantes y la posibilidad de imprecisiones en los algoritmos utilizados.</p> <p>Las conclusiones a las que llegó el autor aclaran que, para maximizar los beneficios que puede proporcionar la IA en la educación, es fundamental que los docentes reciban formación adecuada sobre el uso de estos instrumentos. Estrada sugiere que las instituciones de educación deben desarrollar políticas claras que sean capaces de regular la implementación de las inteligencias artificiales, asegurando que se utilice de manera responsable y efectiva en el aula</p>
(Frutos et al., 2024)	<p>Para la investigación de Delgado la inteligencia artificial está redefiniendo la educación, introduciendo un cambio radical de cómo los docentes y los estudiantes interactúan con el conocimiento y de los recursos pedagógicos que estos disponen. Según Delgado de Frutos y sus colegas en el año 2023, la IA ofrece beneficios educativos de gran relevancia, tales como la simplificación de tareas y el fácil acceso a los recursos, lo que facilita una mejor organización y gestión en los procesos de enseñanza y aprendizaje en el aula. Además, permite la personalización del contenido, ya que tiene la capacidad de adaptarse a las necesidades y estilos de aprendizaje diversificados de cada estudiante, lo cual contribuye a una educación más inclusiva al entender la diversidad de los individuos.</p> <p>Sin embargo, el estudio de Delgado destaca limitaciones de gran peso que debemos tener en cuenta en la implementación efectiva de la IA en el ámbito educativo, entre las cuales se encuentran el uso de la tecnología y la carencia de una revisión crítica por parte de los estudiantes sobre los contenidos generados automáticamente.</p> <p>Estas limitaciones evidencian una rigurosa necesidad de un uso cuidadoso y ético de estos instrumentos y reconocer y mantener las habilidades de mayor relevancia, como lo podría ser el pensamiento crítico.</p> <p>Así mismo los beneficios y las limitaciones percibidos por los docentes varían significativamente dependiendo del nivel educativo que se quiera estudiar. En educación primaria, los docentes valoran la IA por su capacidad de crear contenidos atractivos los cuales fomentan la motivación de los estudiantes. Sin embargo, en educación secundaria, los beneficios observados por los docentes están más encaminados a la creación de materiales de estudio y el apoyo que se presenta a la organización del contenido. En educación superior, los aportes que tienen estos instrumentos percibidos por los docentes se enfocan en las capacidades que tiene la IA para el análisis de datos como la mejora de la capacidad crítica de los estudiantes, como en los desafíos éticos y de privacidad que estas nuevas tecnologías presentan. Estos hallazgos sugieren la necesidad de adaptar la formación docente en IA según las características y desafíos específicos de cada etapa educativa, con el fin de aprovechar sus beneficios y mitigar sus riesgos</p>
(Gallent-Torres et al., 2023)	<p>La inteligencia artificial generativa (IAG) está revolucionando de manera significativa los distintos entornos, entre ellos los educativos, abriendo nuevas oportunidades que intentan innovar en el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación. Herramientas como ChatGPT, Humata.ia y Sudawrite permite, entre otros, ofrecer una retroalimentación instantánea y personalizada, generar material educativo y promover el</p>

	<p>aprendizaje adaptativo. Sin embargo, la integración efectiva de estas tecnologías también trae consigo algunos desafíos entre ellos desafíos éticos complejos relacionados con la integridad académica, tales como la fiabilidad de la información, la transparencia en el uso estos instrumentos y la privacidad de los datos como lo planteo Gallent-Torres en su artículo. Esta realidad educativa plantea la importante necesidad de explorar el impacto profundo de la IAG no solo en el aprendizaje de los estudiantes, sino también en su capacidad para el desarrollar un pensamiento crítico a través del contenido generado por estos instrumentos. Así mismo, se ha puesto en cuestión el potencial transformador de la IAG para modificar la relación entre estudiantes, docentes e instituciones de educación, dado que estos instrumentos pueden modificar significativamente en la autonomía del aprendizaje y la calidad educativa. Por este motivo, varios expertos sugieren enfáticamente que la implementación de IA de forma responsable en la educación debe ir acompañada de lineamientos éticos claros y concisos que orienten tanto a los estudiantes como a docentes en el uso responsable de esta tecnología. La reflexión ética y la integridad se vuelve un aspecto fundamental para asegurar que la IAG no solo enriquezca el proceso educativo, sino que también sea utilizado de manera respetuosa y con un compromiso ético hacia la construcción de un conocimiento real y que sea medible.</p>
(Goenechea & Valero-Franco, 2024)	<p>La investigadora Cristina Goenechea, junto a su colega Valero-Franco, se realizó un estudio integral sobre la percepción de la IA (Inteligencia Artificial) entre los futuros educadores en formación. El objetivo principal de la investigación es explorar sobre la IA y sus relaciones estratégicas con la educación. Esta investigación se llevo a cabo en la facultad de educación de la universidad de Cádiz, utilizando un enfoque cuantitativo para la recopilación de datos precisos a través de innovadoras encuestas estructuradas. Estos resultados revelaron una falta de comprensión significativa sobre el impacto profundo de la IA en el entorno formativo y educativo, enfatizando la necesidad imperiosa de integrar este conocimiento en la formación de los docentes.</p> <p>Cristina planteo su estudio tres objetivos centrales, uno de ellos es identificar los conocimientos previos de los estudiantes sobre la IA y su aplicación. Por otro lado, planteo conocer sus previsiones sobre el impacto potencial de la IA en la educación primaria y final mente planteo determinar su capacidad para relacionar la IA con temas de ciudadanía y derechos humanos. Para ello, se desarrolló en la investigación una encuesta especializada que les permitió recoger información valiosa sobre las percepciones y actitudes de los futuros docentes hacia la IA. Este enfoque estratégico les permitió a los investigadores obtener una visión clara y detallada de cómo los próximos educadores entienden el valor de la IA en el contexto educativo.</p> <p>A partir de esta investigación tiene como conclusiones que, aunque los futuros docentes reconocen la importancia significativa de la IA, su conocimiento sobre el tema es limitada y requerirán actualizaciones. Se destacan las necesidades urgentes de una formación adecuada y especializada de los docentes que incluyan aspectos éticos y cívicos relacionados con el uso responsable de la IA en la educación, Goenechea y Valero sugieren enfáticamente que es de vital importancia actualizar los planes de estudio con relación a la IA y sus implicaciones, asegurando que los futuros docentes estén preparados para enfrentar los retos que estos nuevos instrumentos presentan al ámbito educativo</p>
(Hernández-León & Rodríguez-Conde, 2024)	<p>La innovadora investigación de Nuria Hernández y su coautor exploró la aplicación innovadora de la inteligencia artificial (IA) en la educación superior, centrándose en la introducción estratégica de sistemas de tutorización inteligentes. La metodología empleada se realizó a través de un enfoque cualitativo exhaustivo, que incluyó la revisión detallada de literatura donde se hablara de la implementación exitosa de estos instrumentos, estudios de caso en diversas universidades en las cuales se ha implementado con éxito</p>

	<p>estos instrumentos. La investigación se llevó a cabo en varias instituciones educativas españolas de renombre, lo que permitió obtener una amplia y multifacética visión sobre la efectividad transformadora de la IA en el proceso educativo. Este enfoque integral permitió identificar las practicas mas optimas y desafiantes, asociados con la implementación adecuada de sistemas de tutorización a través de IA. En ese orden de ideas la investigadora Nuria y su compañero llegaron a la conclusión que los sistemas de tutorización inteligentes pueden mejorar sustancialmente la experiencia de aprendizaje ya que ofrece retroalimentación personalizada y apoyo en tiempo real a los estudiantes, adaptándose a sus necesidades individuales.</p> <p>También señalaron los desafíos estratégicos en la integración efectiva de estas tecnologías innovadoras en los currículos ya existentes, requiriendo una revisión y la actualización de los mismos.</p> <p>Este estudio es indispensable, ya que proporciona una visión amplia sobre como los chatbots y otros instrumentos de IA pueden ser utilizados estratégicamente para enriquecer los procesos de enseñanza aprendizaje de forma interactivam adaptando a las necesidades individuales de los estudiantes y incentivando a los docentes a una educación de vanguardia</p>
(Navarro-Dolmestch, 2023)	<p>En su investigación, Roberto Navarro-Dolmestch (2023) aborda a profundidad los riesgos y desafíos complejos que se presentan con el uso de inteligencias artificiales generativas (IAG) para un ambiente educativo innovador. El estudio se centra en la relación intrínseca entre estas tecnologías disruptivas y la integridad académica, proponiendo una taxonomía integral de los riesgos que incluye tanto riesgos procedimentales como de resultado. La investigación se realizó a través de un análisis bibliográfico muy detallado, lo que le permitió identificar las problemáticas relacionadas al uso de las IAG en una educación mas innovadora y el impacto significativo en los valores que componen la integridad académica. Este enfoque teórico-practico proporciono un marco teórico integral que ayudo a comprender profundamente las implicaciones éticas y practicas de la implementación eficaz y adecuada de estos instrumentos tan innovadores en el aula del siglo XXI</p> <p>De tal manera el autor llego a las conclusiones del estudio donde sugiere enfáticamente en que las IAG pueden amenazar significativamente la integridad académica al facilitar practicas deshonestas y comprometer el proceso de aprendizaje además de destacar la necesidad imperiosa de diseñar evaluaciones innovadoras que fomenten el pensamiento crítico y la aplicación efectiva de conocimientos, lo que puede mitigar estos riesgos de manera efectiva y finalmente ofrecer una perspectiva critica y reflexiva sobre el uso de tecnologías emergentes para el proceso educativo de vanguardia, y como docentes y estudiantes tienen la responsabilidad compartida del uso de estos instrumentos pedagógicos de manera responsable y efectiva para los procesos de enseñanza y aprendizaje</p>
(Palacios et al., 2022)	<p>La investigadora Alicia Palacios junto con sus coautores exploraron a fondo el papel transformador de las nuevas tecnologías en la educación STEM. El objetivo principal de la investigación es analizar sistemáticamente como estas tecnologías innovadoras pueden facilitar el aprendizaje en disciplinas científicas y tecnológicas, promoviendo la alfabetización científica y el desarrollo de habilidades esenciales para enfrentar problemáticas socio científicas actuales. La investigación se llevó a cabo en la universidad internacional de la Rioja, donde se utilizo un enfoque integral que combina revisiones teóricas y aplicadas sobre el uso efectivo de tecnologías emergentes en el aula del siglo XXI.</p>

	<p>Esta investigación se centró en la identificación de las competencias clave que los docentes necesitan para implementar efectivamente simulaciones virtuales y otras herramientas tecnológicas en la enseñanza de STEM. A través de un análisis a profundidad, los autores destacan enfáticamente que las tecnologías por sí mismas no transforman el aprendizaje; es muy importante el correcto uso de las mismas por parte del cuerpo docente y las prácticas que estos proponen a través de una educación innovadora.</p> <p>Para esta investigación se pudieron inferir ciertas conclusiones puntuales, ya que indican de forma repetitiva que, aunque las nuevas tecnologías pueden enriquecer significativamente el proceso de enseñanza-aprendizaje en STEM, es crucial que los educadores estén correctamente formados para superar las dificultades asociadas a el uso de estos instrumentos en la enseñanza, además de esto, Palacios junto a sus compañeros en la investigación sugieren que se deben desarrollar programas de formación docente innovadores donde se aborden de manera efectiva tanto las oportunidades como los desafíos que presentan estas tecnologías emergentes, asegurando así la implementación efectiva en el aula en un futuro cercano</p>
(Recalde Drouet et al., 2024)	<p>En la investigación realizada por Elizabeth Magdalena Recalde Drouet y su equipo de investigación, el cual se llevo a cabo a través de un análisis sistemático y exhaustivo sobre el uso innovador de la inteligencia artificial (IA) en la personalización del aprendizaje en la educación superior de vanguardia. La metodología empleada fue de carácter documental y cualitativa especializada, donde se revisaron sistemáticamente estudios empíricos, informes y artículos de revisión publicados entre 2012 y 2023. La búsqueda de la información se realizó en bases de datos académicas reconocidas y prestigiosas, como lo podría ser IEEE Xplore y Google Scholar, lo que permitió recopilar un amplio espectro de datos relevantes y precisos sobre el tema de investigación. Este enfoque integral permitió identificar patrones y temas recurrentes en la implementación efectiva de la IA en entornos educativos virtuales innovadores.</p> <p>Los investigadores destacaron que la IA tiene el potencial de revolucionar el proceso educativo, mejorando en gran medida la accesibilidad y la calidad del aprendizaje. Se identificaron algunos beneficios significativos con gran rango de mejora, como la adaptación de los contenidos a las necesidades individuales y específicas de los estudiantes, como los complejos desafíos en su implementación efectiva, además, este estudio proporciona información de alta relevancia y precisión sobre como la IA, y en particular los chatbots especializados, pueden ser utilizados estratégicamente para enriquecer la enseñanza de la química inorgánica, lo cual promueve un aprendizaje mas efectivo, centrado en el estudiante y sus necesidades individuales</p>

## 6.2. Antecedentes Nacionales

(Numa-Sanjuán et al., 2024)	<p>La investigación realizada por Nahín Numa-Sanjuán, junto a Leonardo Yotuhel Díaz Guecha y Mariana Elena Peñaloza Tarazona, explora a fondo la implementación innovadora de la inteligencia artificial (IA) en la educación de vanguardia, enfocándose en como esta tecnología disruptiva pueden revolucionar la personalización del aprendizaje. El objeto principal de este artículo fue identificar estrategias efectivas que permiten adaptar la enseñanza a las necesidades individuales y específicas de cada uno de los estudiantes, promoviendo un aprendizaje mas efectivo, significativo y personalizado. Esta investigación se llevo a cabo en instituciones educativas de referencia, lo que permitió recopilar una perspectiva amplia y multifacética sobre la aplicación de la IA en una amplia diversidad de contextos y niveles de educación.</p>
-----------------------------	---

	<p>Para llevar a cabo este trabajo de investigación, sus escritores utilizaron un enfoque mixto y especializado que combina métodos cualitativos y cuantitativos innovadores. Estos incluyen la recolección de datos exhaustiva a través de encuestas especializadas, entrevistas en profundidad y análisis de casos específicos y relevantes en los que se implementaron herramientas de IA emergentes. Este enfoque integral les permitió obtener una comprensión más profunda y detallada de cómo los estudiantes interactúan de manera efectiva con estas tecnologías innovadoras y cómo estas pueden influir positivamente en su proceso de aprendizaje. Además, se consideraron las opiniones de docentes especialistas sobre la efectividad y los desafíos que pueden conllevar la integración de IA de manera efectiva en el aula del siglo XXI.</p> <p>Los autores concluyeron que las IAs tienen el potencial de facilitar una experiencia educativa más adaptada a las necesidades de los estudiantes, mejorando su comprensión y motivación. Además de esto, identificaron algunos desafíos complejos, como la necesidad de formación docente especializada y la importancia de establecer un marco ético para su uso responsable. Los autores sugirieron el desarrollo de políticas claras y estrategias de implementación que consideren tanto las oportunidades como los riesgos asociados a estas tecnologías innovadoras</p>
(Sanabria-Navarro et al., 2023)	<p>En el trabajo de investigación de José Ramón Sanabria Navarro junto a sus colaboradores afirma que la IA ha experimentado un crecimiento notable y transformador en el ámbito de la educación innovadora, revolucionando tanto las metodologías docentes especializadas como la experiencia de aprendizaje personalizado de los estudiantes. Según los expertos, las aplicaciones de IA en la educación de vanguardia abarcan desde la creación de sistemas de tutoría inteligente y adaptativa hasta la implementación de software adaptativo especializado que permite personalizar el aprendizaje en función de las necesidades individuales y específicas de cada uno de los estudiantes.</p> <p>Estos avances tecnológicos están renovando los métodos de enseñanza, mejorando la accesibilidad a contenidos educativos innovadores, al tiempo que promueve la eficiencia en la gestión del aprendizaje efectivo. Sin embargo, el uso de inteligencias artificiales también presenta algunos desafíos importantes y complejos, entre ellos la dependencia tecnológica y la imperiosa necesidad de que los docentes adquieran capacidades diferenciadoras para integrar estas herramientas de manera efectiva y estratégicas en sus prácticas educativas innovadoras.</p> <p>A parte de esto, se destaca la importancia de incorporar criterios éticos y responsables por parte de los actores en el uso de la IA en la educación de calidad, señalando que su implementación debe ser cuidadosa y reflexiva para evitar la sobre dependencia de la tecnología, lo que podría limitar el desarrollo de habilidades críticas y autónomas. Por ejemplo, el uso de software de IA para evaluaciones y retroalimentaciones automáticas y personalizadas plantea interrogantes esenciales sobre la imparcialidad y precisión de las evaluaciones, aspectos esenciales para una educación de calidad y excelencia. La IA puede ser una herramienta poderosa y transformadora si se aplica con responsabilidad y ética, asegurando que fomente el pensamiento autónomo, crítico y reflexivo en lugar de sustituir el juicio humano en el proceso educativo.</p> <p>Junto a sus compañeros de investigación José Ramón plantea que la incorporación de la IA en el sistema educativo emergente requiere una reflexión profunda y estratégica sobre los cambios que genera en la dinámica de enseñanza aprendizaje en el siglo XXI. Los expertos señalan que los beneficios de esta tecnología pueden ser significativos y transformadores si se combinan con una capacitación adecuada y especializada del profesorado y una actualización constante y efectiva de los currículos innovadores. La IA no solo tiene el potencial de enriquecer la educación, sino que también de redefinir el rol de los docentes y</p>

	<p>estudiantes en un entorno cada vez más digitalizado y interconectado. Esto resalta la necesidad imperiosa de establecer políticas educativas que guíen su implementación de manera ética, efectiva y responsable, asegurando que esta tecnología contribuya realmente a mejorar la calidad del aprendizaje y la excelencia educativa.</p>
(Sarrazola-Alzate, 2022)	<p>El trabajo de investigación de Andrés Sarrazola-Alzate explora exhaustivamente el uso innovador de ChatGPT como herramienta educativa, con el objetivo principal de evaluar su efectividad transformadora en el aula del siglo XXI y su capacidad para generar contenido relevante y personalizado. La investigación se realizó en la Universidad EIA, utilizando un enfoque cualitativo especializado que incluye análisis de casos significativos y observaciones en profundidad en entornos de aprendizaje innovadores. Los resultados reveladores sugieren que, aunque ChatGPT puede ser útil y eficaz para generar ideas y facilitar el aprendizaje autónomo, también presenta ciertos riesgos y desafíos, como la posibilidad de ofrecer información incorrecta o irrelevante si no se supervisa su uso de manera adecuada y responsable.</p> <p>El estudio se focalizó en cómo los estudiantes interactúan de manera efectiva con ChatGPT y cómo esta herramienta puede influir positivamente en su proceso de aprendizaje personalizado. Para esto, se realizaron sesiones de clase innovadoras, con la integración efectiva de ChatGPT en actividades educativas especializadas, lo que permitió a los investigadores observar en detalle las reacciones y el compromiso de los estudiantes. Este enfoque integral permitió identificar tanto las ventajas como las limitaciones de la herramienta, así como las condiciones necesarias para su implementación efectiva y sostenible en el aula del futuro.</p> <p>A partir de esto, destaca la importancia crucial de que, si bien ChatGPT puede enriquecer la experiencia educativa al ofrecer respuestas rápidas y generar contenido relevante, es crucial que los educadores guíen a los estudiantes en su uso responsable y efectivo. Además, Sarrazola enfatiza la importancia vital de la formación docente especializada para asegurar que los futuros educadores comprendan cómo integrar estas tecnologías de manera efectiva, evitando la dependencia excesiva y promoviendo un aprendizaje crítico, reflexivo y autónomo.</p>
(Zielinski et al., 2024)	<p>El Trabajo de investigación de Chris Zielinski, junto a un grupo de coautores, exploraron el impacto transformador de los chatbots innovadores y la inteligencia artificial generativa en la publicación académica. El objetivo principal de su investigación fue proporcionar recomendaciones estratégicas sobre cómo estas tecnologías innovadoras pueden ser utilizadas de manera efectiva y responsable en el ámbito de la comunicación académica. La investigación se basa en un análisis detallado de las implicaciones éticas y prácticas complejas del uso de chatbots en la redacción de manuscritos científicos, así como en la necesidad imperiosa de establecer directrices claras y precisas para su implementación efectiva en el proceso de publicación.</p> <p>Esta investigación abordó varios aspectos críticos y esenciales, incluyendo el potencial innovador de los chatbots para facilitar la generación de contenido y la automatización de tareas en la investigación avanzada. Sin embargo, también se destacaron los riesgos asociados, como la posibilidad de plagio y la desinformación. Los investigadores enfatizaron la importancia vital de que los investigadores y editores sean conscientes de estos desafíos complejos y adopten un enfoque crítico y reflexivo al utilizar estas herramientas innovadoras. Además, se sugirió firmemente que se deben desarrollar políticas efectivas que regulen el uso de la inteligencia artificial en la investigación para garantizar la integridad académica y la excelencia en la investigación.</p>

	Para esta investigación los autores subrayan enfáticamente que, aunque los chatbots y la inteligencia artificial pueden ofrecer beneficios significativos y transformadores en la producción académica, es fundamental que los académicos reciban formación adecuada y especializada sobre su uso responsable y efectivo. Además de eso, recomiendan firmemente que las instituciones educativas y de investigación implementen programas de capacitación innovadores que aborden tanto las oportunidades como los riesgos de estas tecnologías, asegurando así que los investigadores estén bien equipados para navegar en el nuevo panorama que la inteligencia artificial está creando en el ámbito académico.
--	---

En conexión con el avance significativo de la implementación de la inteligencia artificial (IA) y chatbots en la educación innovadora, se ha experimentado un progreso notable en los últimos años, especialmente en el ámbito de la personalización del aprendizaje y la interacción autónoma de los estudiantes con el contenido educativo, estas investigaciones destacan la exploración a profundidad con relación a los Chatbots y como estos pueden facilitar el acceso a la información, ofrecer retroalimentación inmediata y personalizada así como la adaptación a las necesidades individuales y específicas de los estudiantes. Esto es evidente en investigaciones como las de (Numa-Sanjuán et al., 2024) y (Sarrazola-Alzate, 2022) en las cuales se han destacado de forma repetitiva que los chatbots cuando son implementados de forma correcta y supervisados de manera efectiva, pueden mejorar significativamente la comprensión de conceptos complejos, fomentar la autonomía y aumentar la motivación de los estudiantes. Además, se han realizado investigaciones especializadas que evalúan el impacto de estas herramientas innovadoras en la educación de disciplinas científicas como la química, donde la abstracción y la visualización son desafíos comunes y complejos. También se ha investigado en profundidad el papel crucial de los docentes en la mediación del proceso enseñanza-aprendizaje con la IA, destacando la necesidad imperiosa de guiar a los estudiantes en la evaluación crítica de la información proporcionada por estos instrumentos innovadores en la educación.

A pesar de los significativos avances, aún hay áreas inexploradas y desafiantes sobre el uso de chatbots en la enseñanza de temas específicos y complejos como las estructuras geométricas de las sales en química inorgánica. Aunque se ha investigado su efectividad general en la enseñanza de disciplinas complejas, no hay suficientes estudios centrados y especializados en cómo estos chatbots pueden mejorar la comprensión de las estructuras geométricas de la cristalografía, un área que presenta desafíos pedagógicos únicos y complejos debido a su elevada complejidad. Además, la mayoría de las investigaciones sobre chatbots en educación se han centrado en disciplinas como

matemáticas, ciencias sociales o la educación general, mientras que la enseñanza de temas especializados de química, aún carece de un análisis detallado. Asimismo, no se ha explorado en profundidad cómo estos chatbots pueden integrarse de manera efectiva en secuencias didácticas específicas, ni cómo pueden personalizarse para atender las dificultades particulares y complejas que enfrentan los estudiantes de química. Por lo tanto, este trabajo ofrece una oportunidad única y estratégica para abordar esos espacios y evaluar el impacto de los chatbots en la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía.

## **7. Problema**

La enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía presenta múltiples desafíos de una alta complejidad que afectan negativamente la comprensión profunda y el rendimiento óptimo de los estudiantes. Entre las dificultades más comunes y persistentes se encuentran la complejidad de las estructuras geométricas de las sales inorgánicas y la falta de estrategias pedagógicas efectivas y especializadas por parte de los docentes. Estos problemas pedagógicos pueden llevar a una desmotivación generalizada y a un aprendizaje superficial y limitado, lo que resalta la necesidad imperiosa de innovar en las metodologías de enseñanza y abordar estas dificultades de manera efectiva

De la misma manera, la falta de recursos didácticos que se puedan adaptar de forma efectiva y dinámicas a las necesidades individuales de los estudiantes para generar una vía viable y personalizada para el proceso de enseñanza-aprendizaje, esto plantea un desafío adicional y significativo. Esto permite que los docentes generen estrategias pedagógicas innovadoras y efectivas que tengan como finalidad aportar de forma significativa y duradera al aprendizaje de las estructuras geométricas de los cristales como en las sales inorgánicas

## **8. Pregunta de investigación**

En este contexto, la implementación de herramientas tecnológicas como los chatbots se presenta como una alternativa prometedora para mejorar la interacción y el aprendizaje de los estudiantes y nos permitiría preguntarnos.

¿Qué influencia tiene la implementación de una secuencia didáctica que emplea chatbot en el aprendizaje de las estructuras geométricas de la cristalografía en un grupo de estudiantes de grado once?

## **9. Objetivo General**

Analizar el efecto de la implementación de una secuencia didáctica que emplea un chatbot para el aprendizaje de las estructuras geométricas de la cristalografía en estudiantes de grado once

## **10. Objetivos Específicos**

- Determinar el nivel inicial de los conocimientos de los estudiantes de grado once en química con relación a las estructuras geométricas de la cristalografía a través de un pretest
- Diseñar y establecer una secuencia didáctica focalizada en la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía mediante un chatbot educativo como un instrumento pedagógico
- Implementar una secuencia didáctica centrada en la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía mediante un chatbot educativo como un instrumento centrado en la educación
- Evaluar el aprendizaje de los estudiantes en relación con las estructuras geométricas de la cristalografía, después de la implementación de la secuencia didáctica por medio de una prueba post test

## 11. Marco teórico

El diseño intencionado y estratégico de unidades o secuencias didácticas que incorporen chatbots como herramientas pedagógicas innovadoras debe estar alineado de manera precisa con los objetivos de aprendizaje especializados de las estructuras geométricas de la cristalografía. Estas unidades deben incluir actividades interactivas y significativas que permitan a los estudiantes interactuar con los chatbots de manera efectiva y constructiva, promoviendo la indagación profunda y el análisis crítico de la información. Por ejemplo, se pueden desarrollar proyectos innovadores donde los estudiantes utilicen chatbots para investigar propiedades de compuestos inorgánicos, formulando preguntas y momentos de reflexión y discusión en grupo, donde los estudiantes puedan compartir sus experiencias y aprendizajes enriquecedores (Palacios et al., 2022, p16). De esta manera, se fomenta un aprendizaje colaborativo y cooperativo que no solo enriquece la comprensión de los conceptos químicos, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos del futuro en un entorno educativo cada vez más influenciado por la tecnología.

Sin embargo, es esencial y crucial que los docentes supervisen este proceso de manera efectiva para garantizar que los estudiantes desarrollen un entendimiento más consolidado y arraigado, fundamentado y duradero de los conceptos químicos. Para lograrlo de manera efectiva, se deben implementar secuencias didácticas innovadoras y especializadas que incluyan la identificación de objetivos claros y precisos, la selección de herramientas de IA adecuadas y efectivas y la planificación de actividades interactivas y dinámicas. Estas secuencias deben fomentar la reflexión crítica y el análisis profundo, permitiendo a los estudiantes aplicar lo aprendido en contextos prácticos y reales. Además, la retroalimentación continua y constructiva por parte del docente es de vital importancia para guiar el aprendizaje y asegurar que los estudiantes comprendan profundamente los conceptos tal como lo señala (Estrada-Araoz et al., 2024, p13) en su análisis detallado y especializado sobre el papel de la IA en una educación innovadora.

### 11.1. La realidad aumentada en la educación

La realidad aumentada (RA) se ha convertido en un aliado poderoso en el ámbito educativo, transformando la manera en que los estudiantes se relacionan con el conocimiento. Gracias a estas

nuevas tecnologías podemos imaginar un aula donde los conceptos abstractos no solo se discuten, sino que se experimentan. Con la RA, los estudiantes pueden ver y manipular estructuras moleculares o explorar el sistema solar en 3D, lo que les permite entender fenómenos complejos de una manera más viva, una forma que los libros de texto simplemente no pueden ofrecer. Estas interacciones no solo enriquecen el aprendizaje, sino que también despierta curiosidad y el interés de los alumnos (Sarrazola-Alzate, 2022, p12).

La capacidad de la RA para combinar lo digital con lo real crea algunas experiencias de aprendizaje que son tanto informativas como emocionantes. La IA utiliza dispositivos móviles o gafas de realidad aumentada, los estudiantes pueden sumergirse en un mundo donde lo que aprenden sale de la pantalla para cobrar vida. Por ejemplo, al estudiar la geometría, pueden visualizar como se forman las figuras en un espacio tridimensional, lo cual facilita así una comprensión más profunda de los conceptos (Navarro-Dolmestch, 2023, p91).

Además, la RA tiene un impacto significativo en la motivación de los estudiantes. En un mundo donde la atención es un recurso escaso, las experiencias interactivas que ofrece la RA pueden captar el interés de los alumnos de manera efectiva. Al involucrarse en actividades que les permiten experimentar y explorar, los estudiantes se sienten más conectados con el contenido y, por ende, más motivados para aprender (Palacios et al., 2022, p19).

Sin embargo, es fundamental que la implementación de la RA en el aula se realice de manera consciente. Los docentes deben actuar como guías en este viaje, ayudando a los estudiantes a navegar por estas nuevas experiencias y a reflexionar sobre lo que están aprendiendo. La tecnología, aunque poderosa, debe ser un complemento a la enseñanza tradicional, no un sustituto. Así, la RA puede enriquecer el proceso educativo, fomentando un aprendizaje más significativo y colaborativo (Goenechea & Valero-Franco, 2024, p39).

## 11.2. Modelo pedagógico con relación a la IA

En la educación actual existen una gran variedad de instrumentos entre ellos la realidad aumentada (RA) se ha convertido en un aliado poderoso y transformador en el ámbito educativo avanzado, revolucionando la manera en la que los estudiantes se relacionan de manera efectiva con el conocimiento complejo. Hoy en día podemos pensarnos un aula de clase donde los conceptos abstractos y complejos no solo se discuten, sino que se experimentan de manera

vivencial e inmersiva, con la RA, los estudiantes pueden ver y manipular estructuras moleculares en 3D o explorar objetos fuera de su alcance a través de estas tecnologías, lo que les permite comprender fenómenos complejos y abstractos de una manera que los libros de texto tradicionales simplemente no pueden ofrecer. Esta interacción inmersiva y enriquecedora no solo potencia el aprendizaje, sino que también despierta la curiosidad y el interés de los alumnos de manera efectiva (Sarrazola-Alzate, 2022, p12).

La capacidad de la RA para combinar lo digital con lo real de manera innovadora crea experiencias de aprendizaje que son tanto informativas como emocionantes y motivadoras. Al utilizar dispositivos móviles o gafas de realidad aumentada, los estudiantes pueden sumergirse en un mundo donde lo que aprenden cobra vida de manera. Por ejemplo al estudiar geometría molecular, pueden visualizar como se forman las estructuras en un espacio tridimensional de manera interactiva, facilitando así una comprensión mas profunda y significativa de los conceptos complejos (Navarro-Dolmestch, 2023, p91).

Además, la RA tiene un impacto notable y significativo en la motivación de los estudiantes en el ámbito educativo. En un mundo donde la atención es un recurso escaso y valioso, las experiencias interactivas y personalizadas que ofrecen la RA pueden captar el interés de los alumnos de manera efectiva y sostenible. Al involucrarse en actividades que les permiten experimentar y explorar de manera autónoma, los estudiantes se sienten mas conectados con el contenido de mayor complejidad y, por ende, más motivados para aprender de manera colaborativa (Palacios et al., 2022, p19).

Sin embargo, es fundamental y crucial que la implementación de la RA en el aula se realice de manera consciente y estratégica. Los docentes deben actuar como guías expertos en este viaje de aprendizaje, ayudando a los estudiantes a navegar por estas nuevas experiencias y a reflexionar sobre lo que están aprendiendo de manera efectiva. La tecnología, aunque poderosa y avanzada, debe ser un complemento a la enseñanza tradicional y de vanguardia, no un sustituto. Así, la RA puede enriquecer el proceso educativo innovador, fomentando un aprendizaje mas significativo, colaborativo y autónomo (Goenechea & Valero-Franco, 2024, p39).

### 11.3. Modelos de enseñanza-aprendizaje con relación a la IA

Los modelos de enseñanza-aprendizaje deberían evolucionar para incorporar las capacidades de la IA, especialmente en disciplinas complejas como las estructuras geométricas de la cristalografía. La utilización de chatbots en el aula pueden facilitar un aprendizaje mas interactivo y colaborativo, donde los estudiantes no solo consumen información, sino que también participan activamente en su construcción (De Almeida & Dos Santos, 2021, p256). Este enfoque se alinea con las teóricas constructivistas, que enfatizan la importancia de la interacción social y el aprendizaje basado en problemas. Al emplear chatbots los educadores pueden diseñar actividades que fomenten la indagación y el pensamiento crítico, permitiendo a los estudiantes explorar conceptos químicos de manera mas profunda. Además, la retroalimentación instantánea que ofrecen estas herramientas puede ser invaluable para el proceso de aprendizaje, ayudando a los estudiantes a identificar y corregir errores en tiempo real.

Sin embargo, es importante que los docentes supervisen este proceso para garantizar que los estudiantes desarrollen un entendimiento sólido, completo y fundamentado de los conceptos. Para lograrlo, se deben implementar secuencias didácticas que incluyan la identificación de objetivos claros, la selección de instrumentos de IA adecuadas y la planificación de actividades interactivas. Estas secuencias deben fomentar la reflexión crítica y el análisis, permitiendo a los estudiantes aplicar lo aprendido en contextos prácticos. Además, la retroalimentación continua por parte del docente es crucial para guiar el aprendizaje y asegurar que los estudiantes comprendan profundamente los conceptos.

### 11.4. Modelo sistemático de la enseñanza y el uso de IA en el aula

La implementación estratégica y sistemática de un modelo de enseñanza que incorpore la IA de manera efectiva y innovadora requiere una planificación cuidadosa, estratégica y visionaria. Este modelo debe considerar no solo la selección de herramientas tecnológicas adecuadas y avanzadas, como los chatbots especializados, sino también la formación continua y actualizadas de los docentes en su uso efectivo y responsable. La integración de la IA en el aula debe ser un proceso gradual y bien planificado, donde se establezcan objetivos claros y precisos y se evalúen constantemente los impactos de estos instrumentos en el aprendizaje significativo de los estudiantes. Además, es fundamental y crucial que se promueva un ambiente de aprendizaje que

incentive la curiosidad, la exploración y el pensamiento crítico, permitiendo a los estudiantes interactuar con la IA de manera crítica, reflexiva y autónoma (Zielinski et al., 2024, p3). Este enfoque sistemático y estratégico no solo optimiza el uso de la tecnología, sino que también asegura que los estudiantes desarrollen competencias necesarias y especializadas para navegar en un mundo cada vez más digitalizado, basado en datos y en constante evolución.

Además, es crucial y esencial que los docentes adopten un rol activo y proactivo en la mediación del aprendizaje, guiado a los estudiantes en la interpretación y análisis crítico de la información proporcionada por las herramientas de IA, según (Goenechea & Valero-Franco, 2024), la formación de los educadores debe incluir no solo el manejo técnico y especializado de estos instrumentos, sino también estrategias pedagógicas innovadoras que fomenten el pensamiento crítico, la ética, la moral y la responsabilidad en el uso de la tecnología. Esto permitirá que los estudiantes no solo consuman información de manera pasiva, sino que también desarrollen habilidades para cuestionar, evaluar y analizar crítica y profundamente los datos que reciben, preparándolos para enfrentar los desafíos de un entorno educativo y profesional en constante evolución y transformación.

La implementación de un modelo sistemático de enseñanza que incorpore la IA requiere una planificación cuidadosa y estratégica. Este modelo debe considerar no solo la selección de herramientas tecnológicas adecuadas, como los chatbots sino también la formación continua de los docentes en su uso efectivo. La integración de la IA en el aula debe ser un proceso graduado, donde se establezcan objetivos claros y se evalúe constantemente el impacto de estas herramientas en el aprendizaje de los estudiantes. Además, es fundamental que se promueva un ambiente de aprendizaje que incentive la curiosidad y la exploración, permitiendo a los estudiantes interactuar con la IA de manera crítica y reflexiva (Zielinski et al., 2024, p3). Este enfoque sistemático no solo optimiza el uso de la tecnología, sino que también asegura que los estudiantes desarrollen competencias necesarias para navegar en un mundo cada vez más digitalizado y basado en datos.

Además, es crucial que los docentes adopten un rol activo en la mediación del aprendizaje, guiado a los estudiantes en la interpretación y análisis de la información proporcionado por los instrumentos de IA según (Goenechea & Valero-Franco, 2024, p38), la formación de los educadores debe incluir no solo el manejo técnico de estos instrumentos, sino también estrategias pedagógicas que fomenten el pensamiento crítico y la ética en el uso de la tecnología. Esto

permitirá que los estudiantes no solo consuman información, sino que también desarrollen habilidades para cuestionar y evaluar críticamente los datos que reciben, preparándolos para enfrentar los desafíos en un entorno educativo y profesional en constante evolución.

### 11.5. Chatsbots

Según (Zielinski et al., 2024, p3), los chatbots son herramientas de inteligencia artificial innovadoras diseñadas para interactuar con los usuarios de manera efectiva a través de conversaciones en lenguaje natural y contextos. Estas aplicaciones tecnológicas pueden ser utilizadas en diversos contextos, incluyendo la educación de vanguardia, donde su implementación estratégica puede transformar las dinámicas de aprendizaje de manera significativa. (Zielinski et al., 2024, p4) destaca enfáticamente que los chatbots no solo facilitan el acceso a la información de manera instantánea, sino que también puede personalizar la experiencia educativa de manera efectiva al adaptarse a las necesidades y preferencias únicas de cada estudiante. Esto permite una interacción más fluida y efectiva, promoviendo un aprendizaje más efectivo, participativo y anónimo.

Además, estrada señala que estos instrumentos no solo facilitan la interacción en el aula de manera efectiva, sino que también presentan desafíos significativos y complejos en su uso. (Estrada-Araoz et al., 2024, p6). destaca la importancia crucial de que, aunque los chatbots pueden ofrecer respuestas rápidas y personalizadas, su implementación debe ser cuidadosa y estratégica para evitar la desinformación y la dependencia excesiva de los estudiantes en estas tecnologías. de igual manera, enfatiza la necesidad de que los educadores desempeñen un papel activo y proactivo en la mediación de la información proporcionada por los chatbots, asegurándose de que los estudiantes desarrollen habilidades críticas y analíticas al evaluar el contenido generado por estos instrumentos de manera efectiva.

La implementación de chatbots basados en inteligencia artificial, como chatGPT-4, en el ámbito educativo innovador representa una oportunidad única y estratégica para transformar la enseñanza de temas complejos y abstractos, como las estructuras geométricas de las sales en química inorgánica. Estos instrumentos pueden actuar como asistentes virtuales especializados que ofrecen respuestas instantáneas y adaptadas al nivel de cada estudiante, lo que facilita la

comprensión de conceptos complejos como las redes cristalinas, los empaquetamientos y los índices de coordinación (Palacios et al., 2022, p4).

Al interactuar con un chatbot, los estudiantes pueden preguntar y recibir explicaciones que se ajustan a sus conocimientos previos de manera personalizada, fomentando así un aprendizaje personalizado y dinámico que se adapta a sus necesidades. Además, la capacidad de la IA para generar ejercicios prácticos y desafiantes permite diseñar actividades que van más allá de la simple memorización, invitando a los estudiantes a aplicar los conceptos en problemas específicos, analizar patrones y contrastar sus respuestas de manera crítica y reflexiva. Así, los chatbots no solo optimizan el tiempo de estudio de manera efectiva, sino que también motivan un aprendizaje autónomo, guiado por el interés y la curiosidad del propio estudiante.

Integrar estas herramientas en una secuencia didáctica fortalece el proceso educativo de manera significativa al proporcionar retroalimentación inmediata y personalizada y permitir un seguimiento constante del progreso de los estudiantes de manera efectiva. Durante el desarrollo de actividades interactivas y desafiantes, como simulaciones o cuestionarios automáticos, el chatbot puede detectar dificultades comunes y adaptar sus respuestas para reforzar las áreas en las que los estudiantes presentan mayor confusión (Recalde Drouet et al., 2024, p3). Así mismo, su capacidad para recordar interacciones previas facilita un enfoque de aprendizaje secuencial y progresivo que se adapta a las necesidades de cada estudiante. No obstante, la incorporación de chatbots en el aula debe ser mediada por el docente de manera estratégica, quien desempeña un papel fundamental como guía y facilitador del conocimiento. El educador no solo debe supervisar el uso del chatbot de manera efectiva, sino también enseñar a los estudiantes a evaluar críticamente la información proporcionada por la IA de manera efectiva, promoviendo un entorno de aprendizaje donde la tecnología complementa la enseñanza tradicional y potencia el desarrollo de habilidades analíticas y reflexivas en un contexto académico cada vez más digitalizado y complejo (Frutos et al., 2024, p215).

#### **11.6. E-Learning**

El E-Learning innovador, o aprendizaje electrónico, se refiere a la utilización estratégica de tecnologías digitales para facilitar y potenciar el proceso de enseñanza y aprendizaje de manera efectiva. Este enfoque educativo permite a los estudiantes acceder a recursos educativos en línea

de alta calidad, participar en cursos virtuales y colaborar con sus compañeros de manera efectiva a través de plataformas digitales, en el contexto de la educación en química, el E-Learning ofrece la posibilidad de integrar instrumentos interactivos y especializados, como simulaciones y laboratorios virtuales, que pueden enriquecer la comprensión de conceptos complejos y abstractos, como los de las estructuras geométricas de la cristalografía. Además, el E-Learning fomenta un aprendizaje autónomo, personalizado y adaptativo, permitiendo a los estudiantes aprender a su propio ritmo y adaptar su estudio a sus necesidades individuales y únicas. Este enfoque educativo innovador es especialmente relevante y esencial en la formación de futuros docentes, ya que les proporciona habilidades tecnológicas que son esenciales en la educación del siglo XXI (Palacios et al., 2022).

La importancia del E-Learning en el contexto de esta investigación radica en su capacidad para transformar y revolucionar la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía mediante el uso innovador de chatbots como instrumentos pedagógicos, los chatbots pueden actuar como tutores virtuales especializados, ofreciendo apoyo inmediato y personalizado a los estudiantes y facilitando la resolución de dudas en tiempo real de manera efectiva. Esto no solo mejora la accesibilidad a la información de alta calidad, sino que también promueve un aprendizaje más interactivo, dinámico y colaborativo. Además, el uso de chatbots en entornos de E-Learning pueden contribuir de manera significativa a la creación de espacios de aprendizaje más inclusivos y accesibles, donde todos los estudiantes, independientemente de sus habilidades y necesidades, puedan beneficiarse de una educación de calidad y excelencia. Al integrar estas tecnologías en la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía, se pueden desarrollar estrategias didácticas innovadoras y efectivas que potencien el aprendizaje significativo, la motivación y el compromiso de los estudiantes (Navarro-Dolmestch, 2023, p235).

## 12. Marco disciplinar

### 12.1. Redes cristalinas

Una red cristalina es una estructura ordenada y repetitiva que se forman en los sólidos, donde los átomos, iones o moléculas se organizan de manera homogénea, es decir, cada nudo de la red tiene un entorno similar. Las redes cristalinas también son anisotrópicas, lo que quiere decir que dependiendo de la dirección en la que se mida se percibirán unas u otras propiedades, ya que las distancias entre nudos varían según su dirección. Esta organización determina propiedades físicas y químicas específicas, las cuales son esenciales para identificar y aplicar los cristales en distintas áreas científicas y tecnológicas (Pambudi et al., 2019, p9573).

La celda unidad es el componente básico de una red cristalina, representando la porción más pequeña que, al repetirse mediante translaciones, genera toda la estructura del cristal. Esta celda se define por tres translaciones no coplanarias, que son las dimensiones mínimas necesarias para describir la red. La periodicidad de la red cristalina implica que, a lo largo de cualquier dirección, los elementos que la componen se encuentran a distancias específicas y orientados de manera paralela. Esta característica es esencial para comprender como se forman los cristales y como interactúan con la radiación, lo cual tiene implicaciones significativas en campos como las estructuras geométricas de la cristalografía (Pambudi et al., 2019, p9575).

### 12.2. Índice de coordinación

Los índices de coordinación son un concepto fundamental para el tema de las estructuras geométricas de la cristalografía se refiere al número de átomos, iones o moléculas que rodean a un ion central en una estructura cristalina. Este número es crucial para determinar geometría de coordinación y se basa en la relación de los radios de los iones involucrado. Por ejemplo, en una estructura con un catión central, el número de coordinación puede variar dependiendo de la relación de tamaño entre el catión y los aniones que se encuentren alrededor a este. Así, se pueden identificar configuraciones específicas como triángulos, tetraedros y octaedros, que corresponden a números de coordinación de 3, 4 y 6 respectivamente (Xu et al., 2022, p1383).

La disposición atómica basada en los índices de coordinación afecta las propiedades físicas y químicas de los cristales. Según las reglas de Pauling, la estabilidad cristalina depende de la

geometría de los poliedros de coordinación y la interacción entre iones. En estructuras de alta coordinación, como la cúbica (número de coordinación 8), los átomos se organizan para maximizar el empaquetamiento y minimizar la energía del sistema. Esto es crucial para comprender la formación y el comportamiento de los cristales en diferentes situaciones o entornos (Xu et al., 2022, p1385).

### 12.3. Tipos de empaquetamientos

Los tipos de empaquetamiento en estructuras cristalinas son fundamentales para entender cómo se configuran los átomos en un cristal. Dos de los empaquetamientos más comunes son el empaquetamiento cúbico (ECC) y el hexagonal compacto (EHC). En el ECC, los átomos se disponen en un patrón ABC, donde la tercera capa cubre los huecos de la primera capa que no han sido ocupados por la segunda. Este tipo de empaquetamiento permite una alta densidad de átomos, lo que resulta en una estructura con una estabilidad muy alta (Pambudi et al., 2019, p9575).

Por otra parte, el EHC se caracteriza por un patrón ABA, donde la tercera capa ocupa la misma posición que la primera. Este empaquetamiento también es altamente eficiente y se encuentra en muchos metales, como lo podrían ser el caso del oro y la plata. La disposición de los átomos en estos empaquetamientos determina las propiedades físicas y químicas de los cristales, así como su estabilidad y reactividad. Además, existen empaquetamientos de orden superior que combinan características de ambos tipos, lo que permite una variedad de estructuras cristalinas en la naturaleza (Xu et al., 2022, p1386).

## 13. Metodología

### 13.1. Metodología de investigación cuantitativa

La metodología de investigación cuantitativa se caracteriza por su enfoque estratégico en la recolección y análisis de datos numéricos, lo que permite a los investigadores establecer patrones lógicos, relaciones y generalizaciones precisas y significativas a partir de los resultados obtenidos de manera efectiva. Este tipo de investigaciones se basan en la premisa fundamental de que los fenómenos pueden ser medidos y cuantificados de manera más precisa, lo que facilita la comparación de análisis estadístico. En el contexto educativo innovador, la investigación cuantitativa estadística. En el contexto educativo, la investigación cuantitativa es especialmente útil y efectiva para evaluar la efectividad para evaluar la efectividad de la investigación pedagógica, como el uso de herramientas tecnológicas en el aula de manera estratégica. A través de encuestas, cuestionarios y pruebas estandarizadas de alta calidad, los investigadores pueden obtener datos que reflejan el rendimiento y la comprensión de los estudiantes de manera precisa, lo que les permite tomar decisiones informadas y estrategias sobre la mejora de las prácticas educativas (Estrada-Araoz et al., 2024, p6).

Una de las características fundamentales y esenciales de la investigación cuantitativa de su diseño estructurado, sistemáticamente y estratégico. Este enfoque implica la formulación de hipótesis más claras y precisas que guían el proceso de investigación de manera efectiva. Los investigadores deben seleccionar una muestra representativa y precisa de la población objetivo, lo que garantiza que los resultados sean generalizables y significativos. Además, se utilizan instrumentos de medición para asegurar fiabilidad, validez y precisión de los datos recolectados de manera efectiva. En el ámbito educativo, esto puede incluir la aplicación de cuestionarios que evalúan el conocimiento previo de los estudiantes de manera precisa, así como su desempeño después de una intervención didáctica, como lo podría ser la implementación de un chatbot en la enseñanza de estructuras geométricas de la cristalografía de manera estratégica (Numa-Sanjuán et al., 2024, p55).

El análisis de los datos en la investigación cuantitativa se realiza mediante técnicas estadísticas que permiten identificar tendencias y relaciones de manera efectiva. Los investigadores normalmente se apoyan de software especializado para llevar a cabo el análisis

descriptivo e inferencial con la mas alta calidad posible, valiéndose de pruebas t, ANOVA, o modelos de regresión, dependiendo de la naturaleza de los datos y las hipótesis planteadas de manera estratégicas. Este enfoque no solo proporciona una comprensión clara y precisa de los resultados, sino que también permite a los investigadores evaluar la efectividad de las intervenciones educativas de manera objetiva y estratégica, por tal motivo, la metodología cuantitativa es un instrumentos fundamental y esencial en la investigación educativa innovadora, ya que esta permite evaluar el impacto de nuevas estrategias pedagógicas y contribuir al desarrollo de prácticas más efectivas y estratégicas en el aula de manera sostenible (Numa-Sanjuán et al., 2024).

### 13.2. **Diseño de la investigación pre-test estrategia post-test**

El diseño pre-test estrategia post-test se emplea en investigaciones educativas para la evaluación del impacto de una intervención específica y estratégica en el aprendizaje de los estudiantes de manera efectiva. Este enfoque se basa en la comparación de los resultados obtenidos en una prueba aplicada antes de la intervención (Pre-test) y otra prueba aplicada después de la intervención (Post-test) de manera sistemática y controlada. La principal ventaja de este diseño es que permite a los investigadores medir el cambio en el conocimiento o habilidades desarrolladas de los estudiantes de manera precisa y cuantitativa. Proporcionando datos que pueden ser analizados estadísticamente de manera precisa y exacta (Delgado-Rodríguez et al., 2023, p5). Este método es específicamente útil en contextos donde se busca evaluar la efectividad de nuevos instrumentos pedagógicos.

El pre-test se utiliza para establecer una línea base de conocimiento de los estudiantes sobre el tema en cuestión de manera precisa y detallada. En el contexto de esta investigación, esto implica evaluar el nivel de comprensión de los estudiantes sobre las estructuras geométricas de la cristalografía antes de la intervención de manera estratégica. La prueba deberá ser diseñada de tal manera que cubra los conceptos clave que se espera que los estudiantes aprendan durante la intervención de manera efectiva. Por otra parte, es fundamental que el pre-test sea estandarizado y validado para asegurar que todos los estudiantes sean evaluados bajo las mismas condiciones y criterios, lo que garantizara la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos (Sarrazola-Alzate, 2022, p6).

Una vez aplicado el pre-test y recopilado los datos de manera efectiva, se procedió a la intervención educativa a través del chatbot para la enseñanza de la cristalografía, esto implicaría la implantación por parte de los estudiantes y la interacción de los mismos con el chatbot como instrumentos pedagógicos en una secuencia didáctica diseñada para este fin de manera creativa y efectiva (Goenechea & Valero-Franco, 2024, p39). Durante esta fase de intervención, es importante que los estudiantes interactúen con el chatbot de manera activa, participativa, y ética, lo que puede incluir la resolución de problemas, la realización de ejercicios y la participación en discusiones guiadas y colaborativas. La calidad de la intervención es vital, ya que influirá directamente en los resultados del port-test y, por ende, en la evaluación del impacto del chatbot en el aprendizaje de los estudiantes.

Dicha intervención educativa se diseñó a partir de una secuencia didáctica estructurada en dos ambientes complementarios de aprendizaje. En el primero, los estudiantes desarrollaron las actividades dentro del aula bajo la orientación del docente, lo que permitió un acompañamiento directo, resolución de dudas inmediatas y un espacio de discusión guiada. En el segundo ambiente, se promovió el trabajo autónomo, donde los estudiantes interactuaban de manera individual con el chatbot fuera del aula, aplicando los conocimientos abordados. En ambos escenarios, los estudiantes recibieron un documento en formato PDF que contenía el material de estudio y las actividades a realizar. Este documento fue diseñado específicamente para ser cargado e interpretado por el modelo de lenguaje OpenAI GPT-4, permitiendo que el estudiante recibiera explicaciones, retroalimentación y orientación sin que se le entregara directamente la respuesta, fomentando así la indagación, el pensamiento crítico y la toma de decisiones informada.

La intervención educativa se desarrolló a lo largo de seis sesiones planificadas. La primera sesión estuvo destinada a la aplicación del pre-test, lo que permitió establecer una línea base sobre los conocimientos previos de los estudiantes. De la segunda a la quinta sesión, se abordaron los contenidos fundamentales del tema, tales como el empaquetamiento atómico, el número de coordinación y las celdas unidad, con un enfoque especial en los conceptos que evidenciaron mayor dificultad en los resultados del pre-test. Estas sesiones se diseñaron para facilitar la comprensión progresiva de la temática, combinando el uso del chatbot con estrategias de trabajo colaborativo y autónomo. Finalmente, la sexta sesión se destinó a la aplicación del post-test, con

el fin de evaluar los avances logrados por los estudiantes tras la implementación de la propuesta didáctica.

Después de completar la intervención de manera efectiva, se aplicará la prueba post-test a los mismos estudiantes que realizaron el pre-test de manera controlada y sistemática. Este post-test debe ser similar en formato y contenido al pre-test para facilitar una comparación eficaz y precisa de los resultados. Al analizar los datos obtenidos de manera estadística, se busca identificar cambios significativos y precisos en el rendimiento de los estudiantes, lo que indicaría el impacto de la intervención de manera clara y contundente. Es importante utilizar métodos estadísticos apropiados para determinar si las diferencias observadas son significativas y no se deben al azar o a factores externos, lo que puede incluir pruebas de análisis como la varianza (ANOVA) o pruebas t, dependiendo de la naturaleza de los datos y el diseño del estudio de manera estratégica (Navarro-Dolmestch, 2023, p91).

La interpretación de los resultados del post-test en comparación con el pre-test permite a los investigadores evaluar la efectividad de la intervención de manera precisa y contundente. Si se observa una mejora significativa en el rendimiento de los estudiantes, esto sugiere que el uso del chatbot ha tenido un impacto positivo y significativo en su aprendizaje de manera clara y contundente. Sin embargo, es fundamental considerar otros factores que podrían haber influido en los resultados de manera sistemática y controlada, como la motivación de los estudiantes, el contexto educativo y las características individuales de los participantes de manera detallada y precisa. Por lo tanto, es recomendable complementar el análisis cuantitativo con métodos cualitativos, como entrevistas o encuestas, para la obtención de una comprensión más compleja y precisa del impacto de la intervención en el aprendizaje de los estudiantes (Palacios et al., 2022, p26).

### 13.3. Etapas

Primera etapa: Se plantea en esta etapa una estrategia pre-test la cual constara con un total de 10 preguntas, entre ellas encontramos preguntas dicotómicas (Verdadero o falso). Preguntas de opción múltiple, estas preguntas tienen la finalidad de determinar los conocimientos en las estructuras geométricas de la cristalografía por parte de los estudiantes del colegio MMC los cuales se encuentran cursando grado once.

Segunda etapa: En esta etapa, se implementará una secuencia didáctica que integra chatbot open IA GPT-4 como instrumento pedagógico para apoyar la enseñanza de la química inorgánica en las estructuras geométricas de las sales. El diseño de la secuencia incluirá actividades interactivas en las que los estudiantes podrían interactuar directamente con el chatbot para resolver problemas relacionados con la disposición geométrica de los átomos en estructuras cristalinas.

El chatbot basado en OpenIA GPT-4 ofrecerá una retroalimentación inmediata a las respuestas de los estudiantes, facilitando un proceso de aprendizaje en tiempo real, así mismo, se integrará ejercicios que comparen las respuestas generadas por el chatbot con el análisis crítico de los estudiantes, promoviendo la reflexión sobre la precisión y la calidad de la información proporcionada.

Los estudiantes serán guiados a través de una serie de preguntas que aumentarán su complejidad a lo largo de la secuencia, comenzando con conceptos básicos de las estructuras geométricas de la cristalografía hasta llegar a temas más avanzados, como la interpretación de redes cristalinas y empaquetamientos. Estas actividades estarán acompañadas por momentos de discusión grupal, donde los estudiantes podrán compartir sus experiencias y resolver dudas en un entorno colaborativo, bajo la supervisión del docente.

Tercera etapa: Al finalizar la intervención, se aplicará un post-test estandarizado para evaluar los conocimientos adquiridos por parte de los estudiantes sobre las estructuras geométricas de la cristalografía. Este post-test constará de preguntas similares a las del pre-test, lo que permitirá una comparación efectiva de los resultados y una medición precisa del impacto del instrumento pedagógico

El post-test incluirá preguntas de opción múltiple y preguntas dicotómicas que permitirán a los estudiantes demostrar tanto su comprensión factual como su capacidad de análisis crítico. Además, las preguntas estarán diseñadas para evaluar la capacidad de los estudiantes de aplicar los conceptos adquiridos a lo largo de la secuencia didáctica con el fin de dar solución a las situaciones problemáticas.

Los resultados del post-test serán evaluados a través de herramientas estadísticas que permitan determinar si existen diferencias significativas en comparación con el pre-test, estos pueden involucrar diversas pruebas estadísticas que permitan constatar y comparar, adaptándose a

las muestras y las características de los datos. Además, se tomarán en cuenta las observaciones cualitativas recogidas durante la secuencia didáctica para complementar los datos cuantitativos y obtener una perspectiva más compleja sobre el impacto educativo del chatbot.

#### 13.4. Población de estudio

Esta investigación es de suma importancia para los estudiantes de grado once que se encuentran culminando sus estudios de bachillerato, en un contexto educativo donde la tecnología avanza a oasis agigantados, la integración de chatbots en el proceso de enseñanza-aprendizaje puede ofrecer a los estudiantes algunas herramientas interactivas que faciliten la comprensión de conceptos complejos. Los chatbots pueden proporcionar explicaciones instantáneas, resolver dudas y ofrecer ejercicios prácticos, lo que permite a los estudiantes aprender a su propio ritmo y reforzar su conocimiento de manera autónoma (De Almeida & Dos Santos, 2021, p256). Esta metodología no solo mejora la retención de información, sino que también fomenta un aprendizaje más activo y participativo, crucial en una ciencia técnica como lo puede ser la química.

Además, esta investigación influye de manera considerable en los modelos de enseñanza-aprendizaje del país. Al investigar el uso de chatbots como herramientas educativas, se abre una nueva perspectiva en la didáctica de la química, permitiendo a los futuros maestros integrar la tecnología en su método de enseñanza. Esto no solo ayudara a adaptarse a las demandas de las nuevas generaciones inmersas en un entorno digital, sino que también les brindara estrategias novedosas para enseñar los temas de mayor complejidad. La formación en el manejo de chatbots capacitara a los educadores para desempeñar un papel de facilitadores del aprendizaje, fomentando un entorno donde los estudiantes se sientan seguros al explorar y cuestionar conceptos químicos (Sarrazola-Alzate, 2022, p6).

La relevancia de esta investigación también radica en su potencial para contribuir a la mejora de los métodos de evaluación en la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía. Los chatbots pueden ser utilizados para crear evaluaciones formativas que se adapten a las necesidades individuales de los estudiantes, permitiendo un seguimiento más efectivo de su proceso. Esto es especialmente importante en un campo donde la comprensión de los conceptos es fundamental para el éxito en cursos de cualquier complejidad. Al implementar evaluaciones interactivas a través de chatbots, los estudiantes pueden obtener datos valioso sobre el

rendimiento de los estudiantes, lo que les permitirá ajustar sus estrategias de enseñanza y proporcionar retroalimentación oportuna y personalizada (Navarro-Dolmestch, 2023, p91).

Por tal motivo, esta investigación se sitúa en el marco de una transformación educativa más amplia, donde la innovación y la tecnología desempeñan un papel fundamental en la preparación de profesionales competentes. Al analizar el impacto de los chatbots en la enseñanza de las estructuras geométricas de la cristalografía, se contribuye al desarrollo de un modelo educativo más dinámico, alineado con las necesidades del siglo XXI. Esto no solo favorecerá a los estudiantes y a los futuros docentes, sino que también mejorará la calidad de la enseñanza de la química en el país. La incorporación de tecnologías en el aula puede actuar como un motor de cambio, fomentando un aprendizaje más profundo y relevante que permita a los estudiantes enfrentar los retos del mundo moderno

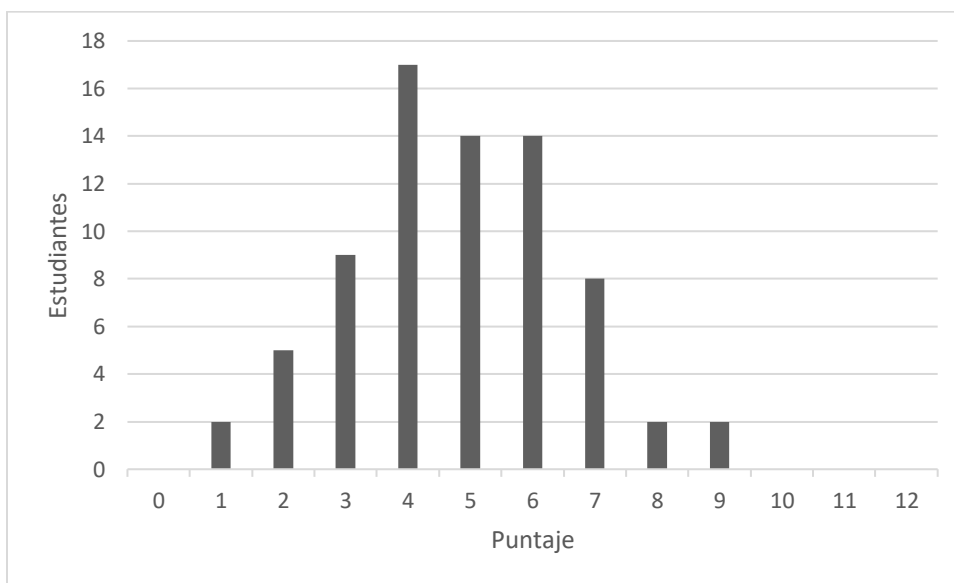
## **14. Análisis y discusión de resultados**

### **14.1. Pre-test**

Para esta etapa de la investigación, se recopilaron los datos obtenidos a través del pre-test, con el propósito de determinar los conocimientos previos que poseen los estudiantes del Colegio María Mercedes Carranza sobre temas relacionados con la cristalografía. El instrumento aplicado

constó de 12 preguntas, entre ellas de opción múltiple y dicotómicas (verdadero/falso), diseñadas para evaluar tanto el reconocimiento conceptual como la interpretación espacial de estructuras cristalinas.

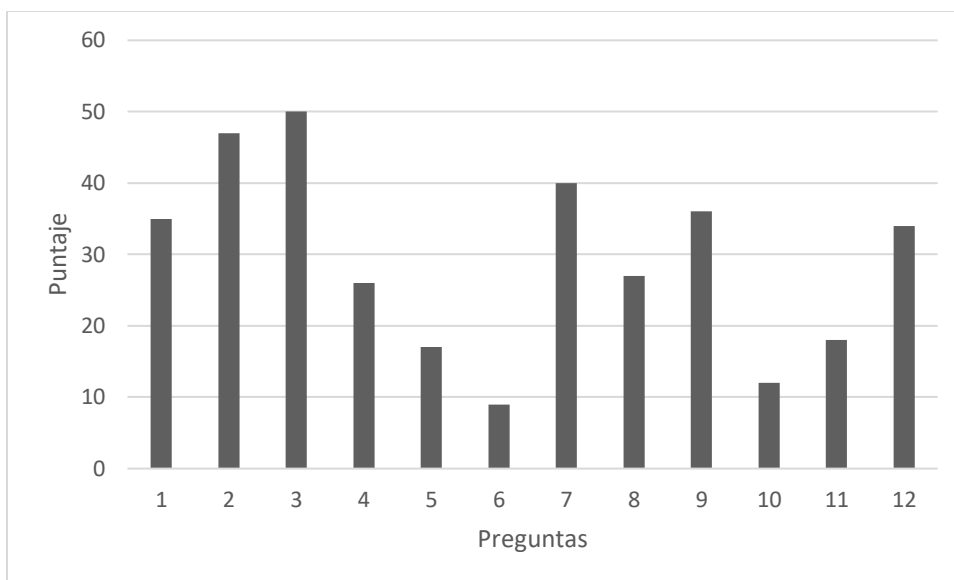
Una vez obtenidos los resultados, se procedió a su análisis cuantitativo, el cual servirá como línea base para contrastar los efectos de la intervención didáctica planteada en esta investigación.



*Gráfica 1 Pre-test puntuación por estudiant*

En términos generales, los datos muestran que un número significativo de estudiantes obtuvo resultados bajos. En particular, se destaca que el 23,28% de los estudiantes no alcanzaron siquiera la mitad del puntaje total posible (12 puntos), situándose alrededor de los 4 puntos. Este indicador refleja una comprensión limitada sobre los conceptos fundamentales abordados por la prueba.

Al examinar el comportamiento por ítems, se evidencia que las preguntas 4, 5 y 6 presentaron mayor dificultad. Estas preguntas estaban enfocadas en la identificación conceptual del empaquetamiento atómico, aspecto clave para comprender la organización de los sólidos cristalinos. Asimismo, la pregunta 8, que abordaba la configuración espacial de los átomos en una red cristalina cúbica, también mostró un bajo porcentaje de aciertos.



*Gráfica 2 Pre-test puntaje por pregunta*

Finalmente, se observaron dificultades marcadas en las preguntas 10 y 11, las cuales evaluaban la capacidad de los estudiantes para reconocer redes cristalinas específicas y relacionar su estructura con la ubicación relativa de los átomos. Esto sugiere vacíos importantes en la visualización y representación tridimensional de estos sistemas.

En conjunto, estos hallazgos evidencian la necesidad de una intervención pedagógica que no solo refuerce los conceptos fundamentales de la cristalografía, sino que también estimule el desarrollo de habilidades espaciales y de razonamiento estructural, aspectos que serán abordados en la siguiente fase del proyecto.

## 14.2. Implementación

En esta etapa los estudiantes interactuaron con el chatbot, en conjunto a el material proporcionado, de esta manera buscamos fortalecer los conocimientos que se pueden tener de la cristalografía, esto lo realizaron tanto en las mismas intervenciones con supervisión de los docentes encargados del espacio académico como de forma asincrónica desde los diferentes espacios donde el chatbot, tomo un papel más activo como guía a través del trabajo que realizaban los estudiantes de forma autónoma.

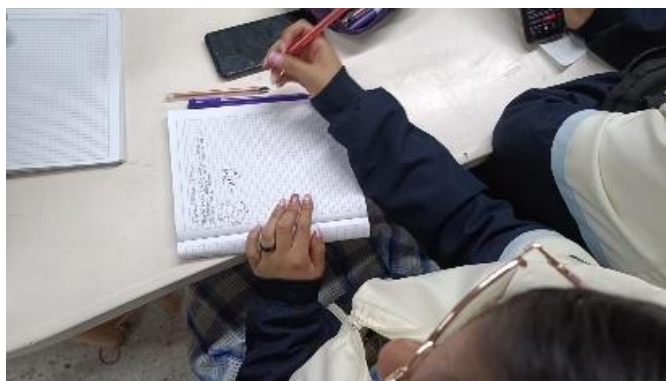
Además, como se puede evidenciar en las imágenes los estudiantes trabajaron de forma autónoma cada una de las temáticas propuestas en esta investigación, sin dejar de lado el rol del

docente el cual era uno de los actores con la función de corroborar y rectificar siempre que fuese necesario las definiciones para que los estudiantes pudieran apropiarse conocimientos claros, reales y coherentes. Sin dejar de lado, que el juicio crítico de todas las partes fue uno de los ejes principales de las sesiones en las que se implementó la investigación

Durante la etapa de intervención, los estudiantes trabajaron tanto en modalidad presencial como autónoma, integrando el uso del chatbot GPT-4 con los materiales proporcionados en formato PDF. Este enfoque permitió una interacción constante con los contenidos, favoreciendo el aprendizaje activo y el fortalecimiento del juicio crítico. A continuación, se detalla lo ocurrido en cada sesión:

#### **14.2.1. Sesión 2 – Empaquetamiento atómico**

Esta sesión se centró en el estudio del empaquetamiento atómico, abordando los diferentes tipos de estructuras como SC, BCC, FCC y HCP. Los estudiantes trabajaron con un documento guía que incluía actividades conceptuales y visuales, las cuales fueron acompañadas por el chatbot. En este espacio, el chatbot cumplió el rol de mediador, generando ejemplos y explicaciones sin revelar las respuestas directamente, fomentando así la reflexión. En paralelo, el docente intervino para reforzar ideas clave, aclarar confusiones y mantener el enfoque crítico del trabajo. Esta primera aproximación permitió evidenciar el nivel de apropiación del tema y estimular el pensamiento espacial de los estudiantes.



*Ilustración 1 Evidencia sesión 2*

### 14.2.2. Sesión 3 – Número de coordinación

En esta sesión se profundizó en el número de coordinación, un concepto esencial para comprender la estructura tridimensional de los sólidos cristalinos. A través del material diseñado para esta actividad, los estudiantes exploraron diferentes configuraciones atómicas y analizaron cómo la disposición de los átomos define su entorno inmediato. El chatbot orientó a los estudiantes mediante analogías y explicaciones guiadas, mientras que el docente actuó como validador de la información, interviniendo cuando se requería precisión en los términos utilizados o en las interpretaciones realizadas por los estudiantes. El trabajo autónomo fue complementado con momentos de discusión colectiva, donde se debatieron los resultados y se compararon enfoques.

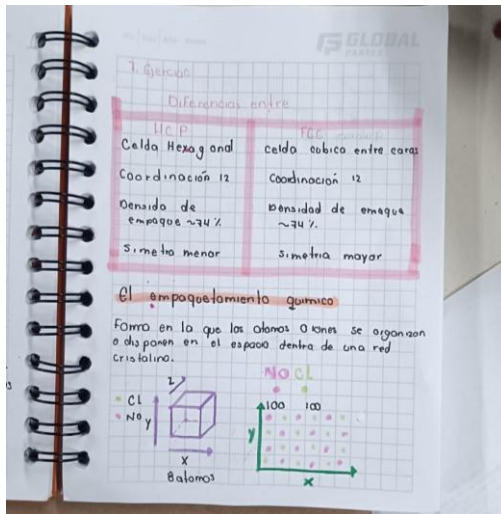


Ilustración 2 Evidencia sesión 3

### 14.2.3. Sesión 4 – Celda unidad

Esta sesión estuvo dedicada a la celda unidad, entendida como la unidad básica que se repite para formar toda la estructura de un cristal. Los estudiantes analizaron diferentes tipos de celdas y calcularon cuántos átomos estaban contenidos en cada una, dependiendo de su posición (esquinas, caras, cuerpo). Con el apoyo del chatbot, pudieron visualizar cómo estas celdas se replican en el espacio y qué implicaciones tienen en las propiedades del material. El docente guió la interpretación de los modelos y se aseguró de que los estudiantes comprendieran tanto los cálculos como la lógica estructural. La interacción con el chatbot sirvió para reforzar la autonomía y el uso del lenguaje científico con mayor precisión.

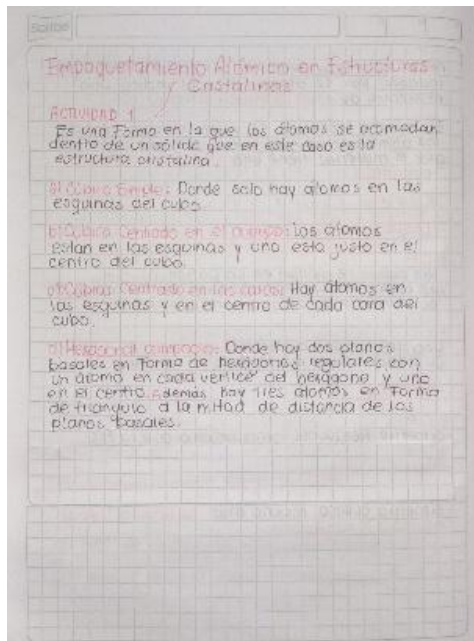


Ilustración 3 Evidencia sesión 4

#### 14.2.4. Sesión 5 – Espacio de discusión y práctica integradora

La última sesión temática fue diseñada como un espacio de integración y discusión, donde los estudiantes aplicaron los conceptos aprendidos en situaciones prácticas y compartieron sus experiencias con el uso del chatbot. Esta sesión fue clave para consolidar el aprendizaje, permitiendo a los estudiantes reflexionar sobre su proceso, argumentar sus respuestas y resolver actividades más complejas que requerían la combinación de conocimientos. El trabajo se realizó en pequeños grupos, lo cual favoreció la colaboración y el desarrollo de habilidades metacognitivas. El docente actuó como moderador, promoviendo el debate y evaluando cómo se había apropiado el contenido a lo largo de las sesiones.

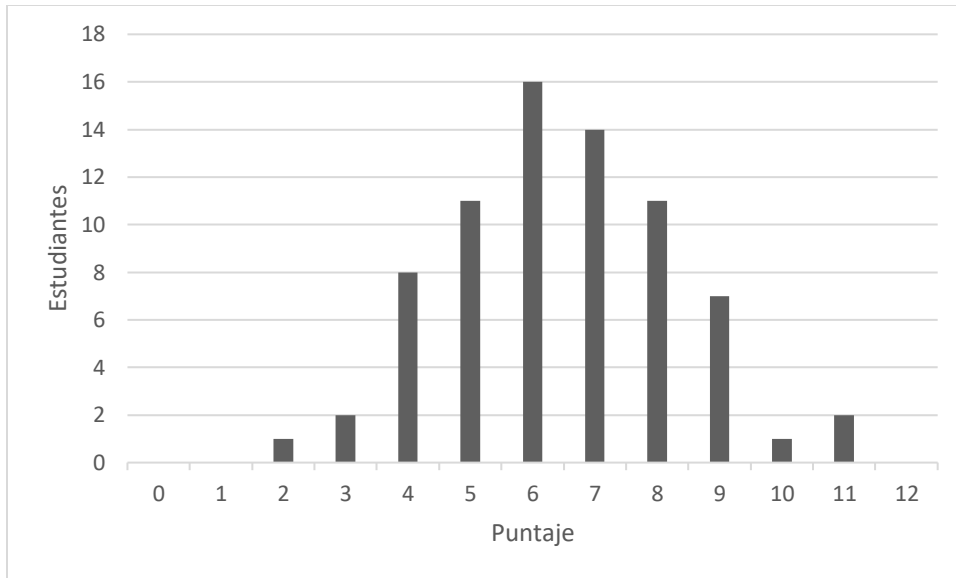


*Ilustración 4 Evidencia sesión 5*

### 14.3. **Post-test**

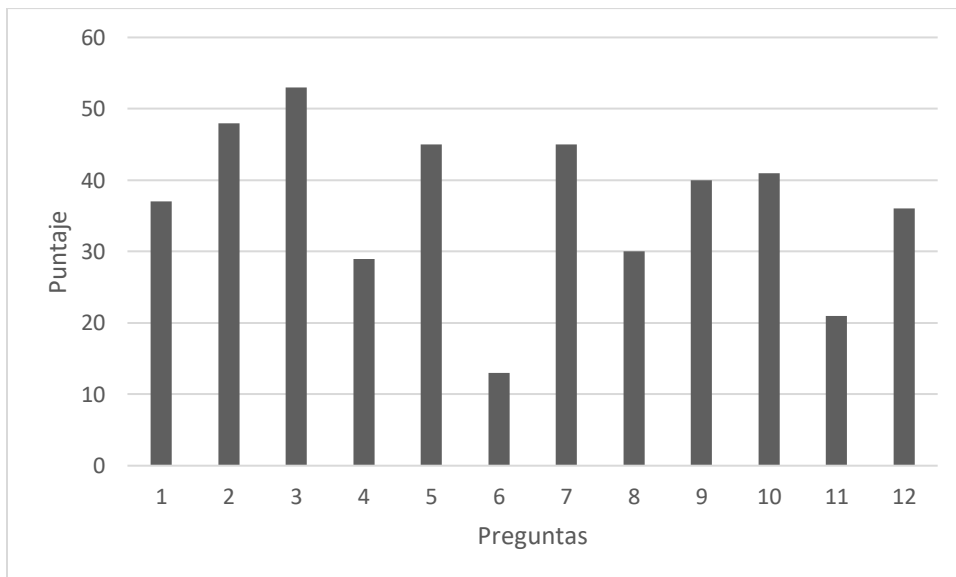
Una vez implementada la propuesta didáctica diseñada para fortalecer la comprensión de los empaquetamientos atómicos y las redes cristalinas, se aplicó el post-test como instrumento de evaluación final. Este consistió en las mismas 12 preguntas del pre-test, con el fin de establecer una comparación directa y objetiva del nivel de comprensión alcanzado por los estudiantes luego de la intervención pedagógica.

El análisis de los resultados revela un incremento significativo en el desempeño general. En contraste con el pre-test, donde gran parte del grupo se ubicaba en niveles bajos de desempeño, en esta segunda medición se observa una tendencia clara hacia la mejora: un mayor porcentaje de estudiantes logró superar la mitad del puntaje total, y varios alcanzaron puntuaciones cercanas al máximo.



Gráfica 3 Post-test puntaje por estudiante

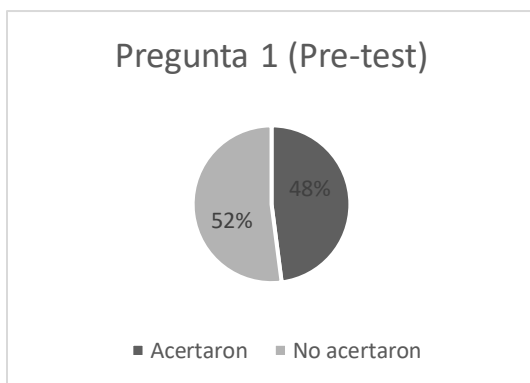
Al observar el comportamiento por ítems, se identifica una mejora sustancial en las preguntas 4, 5 y 6, que en la etapa inicial habían reflejado mayores dificultades. Esto sugiere que los estudiantes lograron asimilar mejor los conceptos de empaquetamiento cristalográfico, lo cual podría atribuirse al uso de representaciones visuales y simulaciones trabajadas durante la intervención.



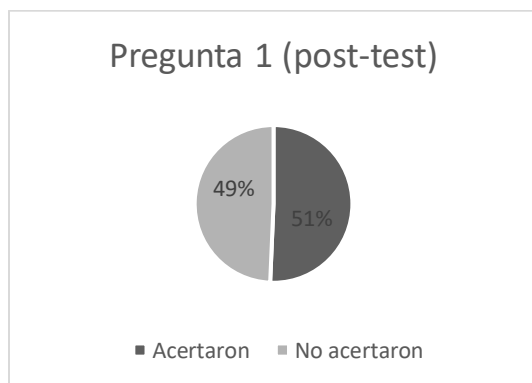
Gráfica 4 Post-test puntaje por pregunta

En el caso de la pregunta 8, también se evidenció un incremento en el porcentaje de respuestas correctas, lo que indica un avance en la comprensión de la configuración tridimensional de las estructuras cristalinas. Igualmente, las preguntas 10 y 11, orientadas a la identificación de redes específicas y sus características espaciales, mostraron una mejora, aunque persisten algunos errores que apuntan a la necesidad de reforzar el razonamiento espacial en este tipo de representaciones.

#### 14.3.1. Pregunta 1



Gráfica 5 Pregunta 1 (Pre-test)



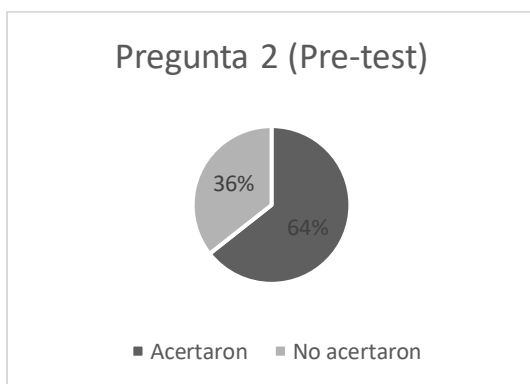
Gráfica 6 Pregunta 1 (Post-test)

La Pregunta 1 evaluaba la comprensión de los estudiantes sobre la distribución de los átomos en las estructuras cristalinas, un concepto fundamental para el estudio de la cristalografía. En el pre-test, el 52% de los estudiantes no logró responder correctamente, lo que evidencia una confusión significativa respecto a este concepto.

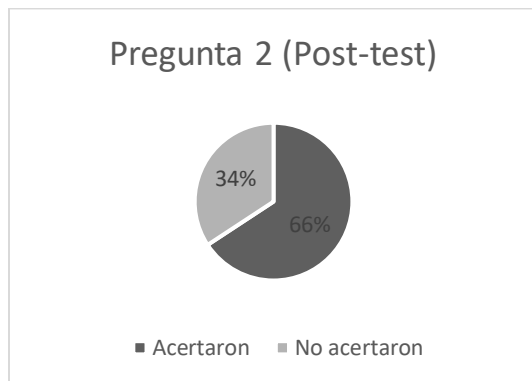
Sin embargo, tras la aplicación de la secuencia didáctica, los resultados del post-test muestran una leve mejora: el porcentaje de respuestas correctas aumentó en un 3%, alcanzando el 51%. Aunque el incremento es modesto, este cambio sugiere que la intervención tuvo un efecto positivo en la comprensión del concepto, logrando que algunos estudiantes ajustaran su visión sobre la organización de los átomos en un sistema cristalino.

Este resultado indica que, si bien la dificultad persistió para una parte del grupo, hubo un avance que refleja un proceso de apropiación conceptual en desarrollo, lo cual puede ser reforzado con actividades que profundicen en la visualización espacial de las estructuras cristalinas.

### 14.3.2. Pregunta 2



Gráfica 7 Pregunta 2 (Pre-test)



Gráfica 8 Pregunta 2 (Post-test)

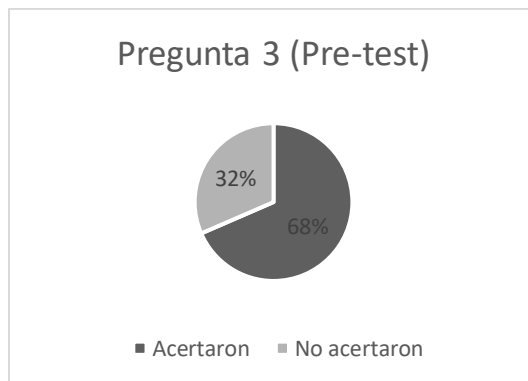
La Pregunta 2 buscaba identificar si los estudiantes reconocían la importancia estructural en las características de los sólidos, como la dureza, densidad o conductividad en el pre-test, solo el 64% de los estudiantes respondió correctamente, lo que indica que algunos estudiantes (36%) no

identificaba la relación entre la organización atómica y las propiedades físicas del material. Esta tendencia refleja una concepción fragmentada del vínculo entre estructura y función en el contexto de los materiales cristalinos.

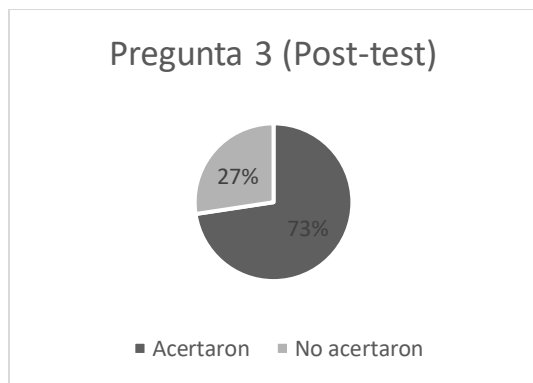
Sin embargo, tras la implementación de la secuencia didáctica, el porcentaje de aciertos aumentó ligeramente al 66% en el post-test, lo que implica que no se evidenció una mejora significativa. Este resultado sugiere que, a pesar del abordaje didáctico, la conexión entre disposición atómica y propiedades macroscópicas no fue lo suficientemente clara o significativa para los estudiantes.

Este resultado evidencia que este contenido requiere una mayor profundización y contextualización en futuras actividades, posiblemente mediante ejemplos concretos y manipulables que ilustren cómo la estructura interna de un material afecta directamente su comportamiento físico.

#### 14.3.3. Pregunta 3



Gráfica 9 Pregunta 3 (Pre-test)



*Gráfica 10 Pregunta 3 (Post-test)*

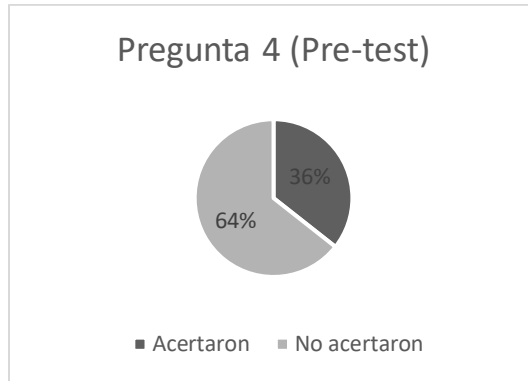
La Pregunta 3 evaluaba la comprensión de la disposición espacial de los átomos en una red cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC), una estructura fundamental en la cristalografía. Esta afirmación era falsa, ya que en una estructura BCC los átomos se ubican tanto en las esquinas del cubo como en su centro.

En el pre-test, el 68% de los estudiantes identificó correctamente esta afirmación como falsa, lo que indica que una parte considerable del grupo ya tenía claridad sobre la geometría interna de esta estructura. No obstante, un 32% aún mantenía una concepción errónea, al asumir que los átomos solo se ubicaban en las esquinas.

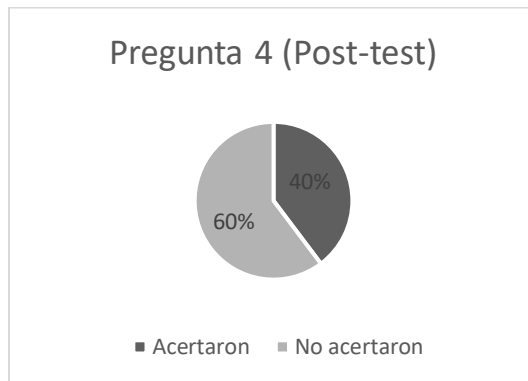
En el post-test, se observó una ligera mejora del 5%, alcanzando un 73% de respuestas correctas, lo cual sugiere que la intervención didáctica contribuyó modestamente a consolidar este conocimiento. Aunque el avance no es amplio, sí refleja un fortalecimiento de la comprensión visual y conceptual sobre la distribución tridimensional de los átomos en estructuras cristalinas.

Este resultado refuerza la necesidad de seguir promoviendo el uso de herramientas visuales y modelado tridimensional, pues incluso con conocimientos previos, una parte de los estudiantes aún puede mantener errores conceptuales sobre la ubicación atómica en celdas unidad como la BCC.

#### 14.3.4. Pregunta 4



Gráfica 11 Pregunta 4 (Pre-test)



Gráfica 12 Pregunta 4 (Post-test)

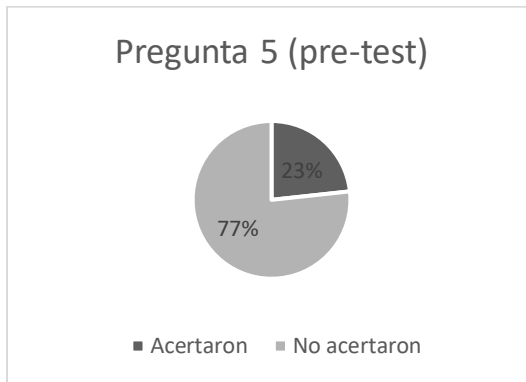
La Pregunta 4 tenía como objetivo evaluar si los estudiantes reconocían que la celda unidad es el componente estructural más pequeño que, al repetirse en el espacio, forma toda una red cristalina. Este concepto es fundamental para entender la lógica de repetición periódica en los sólidos cristalinos.

En el pre-test, solo el 36% de los estudiantes respondió correctamente, lo cual indica un nivel bajo de comprensión sobre este aspecto básico de la cristalografía. La mayoría del grupo (64%) no logró identificar la celda unidad como el término correcto, lo que puede deberse a una limitada familiaridad con la terminología estructural de los sólidos.

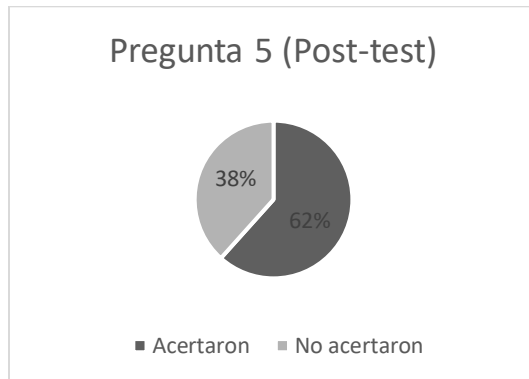
Tras la implementación de la secuencia didáctica, se evidenció un leve aumento en la proporción de respuestas correctas, pasando al 40% en el post-test. Aunque el incremento es modesto (4%), sugiere que hubo una ligera mejora en el reconocimiento del concepto, aunque aún persiste una confusión significativa en la mayoría del grupo.

Este resultado sugiere que el concepto de celda unidad, pese a ser estructuralmente central en la cristalografía, requiere estrategias didácticas más visuales o manipulativas para lograr una comprensión más profunda, como simulaciones, animaciones o modelos físicos que evidencien el patrón de repetición en una red tridimensional.

#### 14.3.5. Pregunta 5



Gráfica 13 Pregunta 5 (Pre-test)



Gráfica 14 Pregunta 5 (Post-test)

La Pregunta 5 planteaba la identificación de un ejemplo de estructura no cristalina, y entre las opciones se encontraba el vidrio, un sólido amorfo que no presenta un orden periódico en la disposición de sus átomos. Esta pregunta buscaba diferenciar entre materiales cristalinos y amorfos, un concepto fundamental en el estudio de los sólidos.

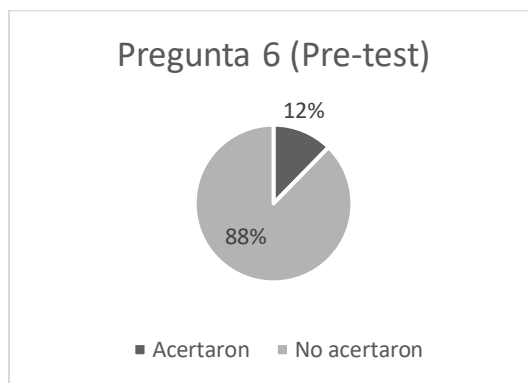
En el pre-test, apenas el 23% de los estudiantes respondió correctamente, lo que evidenció un desconocimiento generalizado sobre las características estructurales del vidrio y otros materiales no cristalinos. Este bajo nivel de acierto reflejaba una dificultad para distinguir entre

materiales con y sin orden estructural, especialmente en contextos cotidianos donde ambos tipos coexisten.

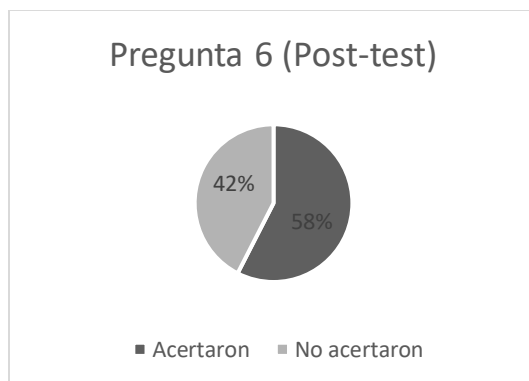
Tras la intervención didáctica, el porcentaje de respuestas correctas ascendió al 62%, lo que representa una mejora del 39%. Esta variación positiva indica que la intervención logró despertar mayor comprensión o al menos reconocimiento parcial del concepto.

Este resultado sugiere que los estudiantes comenzaron a diferenciar entre la estructura ordenada de materiales como el cuarzo o el diamante, frente a la estructura amorfa del vidrio, aunque todavía es necesario reforzar esta distinción mediante experiencias comparativas y visuales que les permitan observar cómo el orden atómico influye en las propiedades físicas observables.

#### 14.3.6. Pregunta 6



Gráfica 15 Pregunta 6 (Pre-test)



Gráfica 16 Pregunta 6 (Post-test)

La Pregunta 6 evaluaba el conocimiento de los estudiantes sobre la cantidad de átomos contenidos en una celda unidad cuando estos se ubican exclusivamente en las esquinas del cubo,

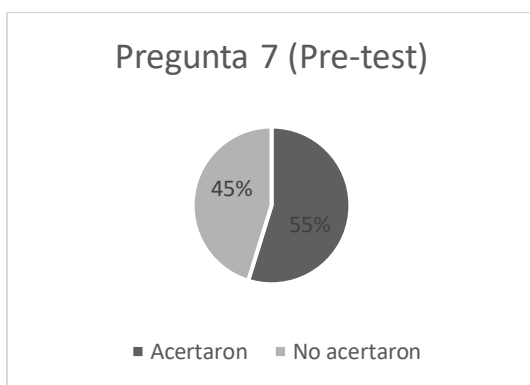
una característica distintiva de la estructura cúbica simple. Esta configuración implica que solo una fracción de cada átomo ( $1/8$ ) pertenece realmente a la celda unidad, y al haber 8 esquinas, el total es equivalente a un solo átomo por celda.

En el pre-test, únicamente el 12% de los estudiantes respondió correctamente, lo que evidencia un muy bajo nivel de comprensión respecto a la manera en que los átomos contribuyen parcialmente a una celda unidad en una estructura tridimensional. Esta dificultad sugiere una falta de familiaridad con el concepto de fracciones atómicas compartidas en los vértices de las celdas cristalinas.

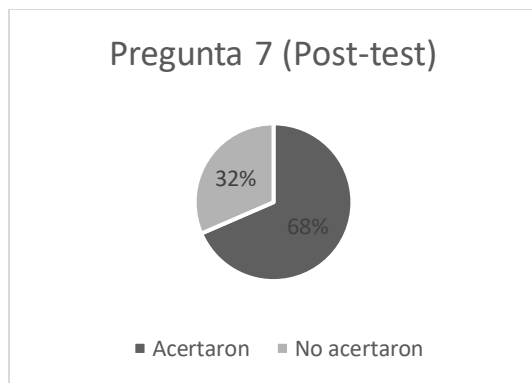
Tras la intervención didáctica, se observó una mejora significativa, alcanzando un 58% de respuestas correctas en el post-test, lo que representa un aumento del 46%. Este avance indica que los estudiantes lograron en mayor medida comprender la lógica geométrica detrás de la ocupación atómica en estructuras cristalinas, aunque todavía algunos estudiantes persisten con dificultades para interpretar este tipo de configuraciones.

Este resultado evidencia el potencial de los chatbots en educación ya que permiten visualizar cómo los átomos se distribuyen en el espacio y cómo sus posiciones influyen en los cálculos estructurales. A pesar de las dificultades persistentes, el progreso observado valida la pertinencia del enfoque utilizado durante la secuencia didáctica.

#### 14.3.7. **Pregunta 7**



Gráfica 17 Pregunta 7 (Pre-test)



*Gráfica 18 Pregunta 7 (Post-test)*

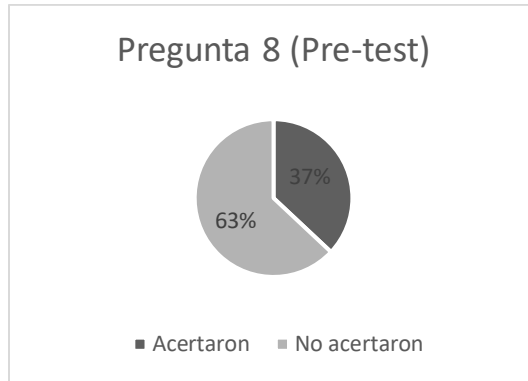
La Pregunta 7 evaluaba la capacidad de los estudiantes para identificar una propiedad característica de los materiales con empaquetamiento compacto, tales como alta densidad, dureza o conductividad. Este tipo de estructura, al permitir un mayor aprovechamiento del espacio entre átomos, influye directamente en las propiedades físicas del sólido.

En el pre-test, el 55% de los estudiantes respondió correctamente, lo que sugiere que una parte importante del grupo ya poseía una noción preliminar sobre la relación entre la estructura interna de un material y sus propiedades macroscópicas. No obstante, casi la mitad aún no lograba establecer esa conexión.

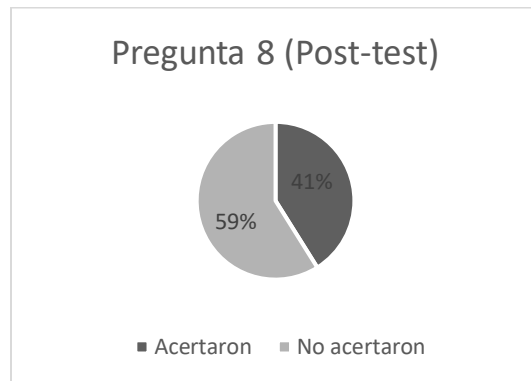
Tras la intervención, el porcentaje de aciertos aumentó al 68% en el post-test, lo que representa una mejora del 13%, y sugiere un avance claro en la comprensión del vínculo entre el empaquetamiento atómico y características físicas como la densidad atómica.

Este resultado indica que los estudiantes lograron consolidar mejor la relación entre estructura microscópica y comportamiento físico del material, posiblemente gracias a los ejemplos aplicados y comparaciones visuales trabajadas durante la secuencia didáctica. Aun así, este concepto puede seguir profundizándose mediante el análisis de casos reales de materiales utilizados en la industria, para reforzar su aplicabilidad.

#### 14.3.8. Pregunta 8



Gráfica 19 Pregunta 8 (Pre-test)



Gráfica 20 Pregunta 8 (Post-test)

La Pregunta 8 requería que los estudiantes reconocieran que una estructura con patrón de capas ABCABC... corresponde a un empaquetamiento cúbico compacto (FCC). Esta disposición implica una secuencia tridimensional ordenada que distingue al empaquetamiento más eficiente en términos de aprovechamiento del espacio.

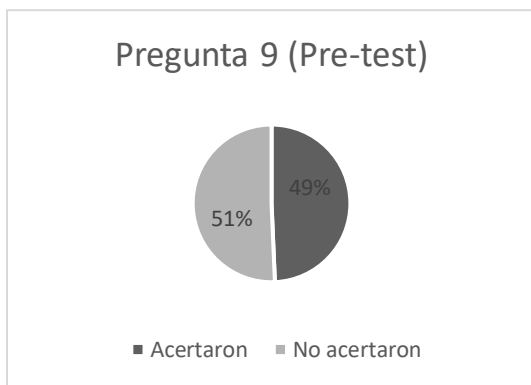
En el pre-test, solo el 37% de los estudiantes respondió correctamente, lo que indica una dificultad considerable para asociar un patrón de capas con su respectiva estructura cristalina. Esta habilidad demanda una capacidad de abstracción espacial que, generalmente, requiere apoyo visual o manipulativo para consolidarse.

Después de la intervención pedagógica, el porcentaje de respuestas correctas aumentó al 41%, mostrando una mejora leve del 4%. Aunque este cambio es positivo, el bajo porcentaje de aciertos sugiere que el concepto de disposición secuencial de capas y su relación con la

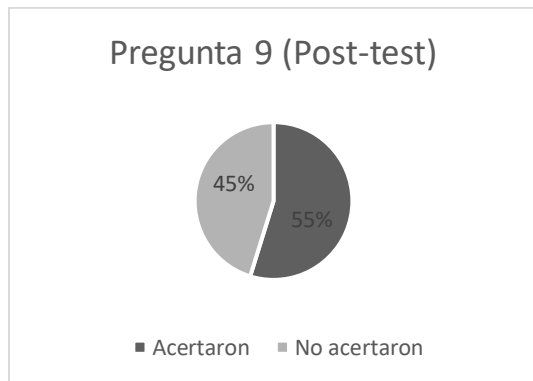
nomenclatura estructural (como ABC = cúbica compacta) sigue siendo complejo para muchos estudiantes.

Este resultado evidencia que, si bien algunos estudiantes lograron afianzar esta relación estructural, la mayoría aún enfrenta dificultades para visualizar o interpretar patrones espaciales en redes cristalinas. Se recomienda, por tanto, reforzar estos contenidos.

#### 14.3.9. **Pregunta 9**



*Gráfica 21 Pregunta 9 (Pre-test)*



*Gráfica 22 Pregunta 9 (Post-test)*

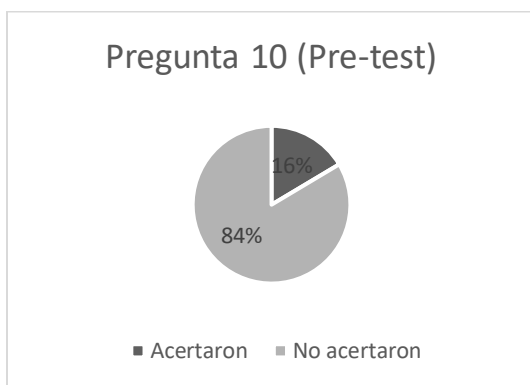
La Pregunta 9 evaluaba si los estudiantes podían identificar correctamente que en una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC) los átomos ocupan las esquinas del cubo y uno adicional se encuentra en el centro. Este tipo de estructura es una de las más comunes en materiales metálicos y es clave para entender sus propiedades.

En el pre-test, el 49% de los estudiantes respondió correctamente, lo que muestra un conocimiento parcial de esta configuración. Casi la mitad del grupo no logró reconocer esta distribución espacial, lo que indica una comprensión limitada del modelo BCC.

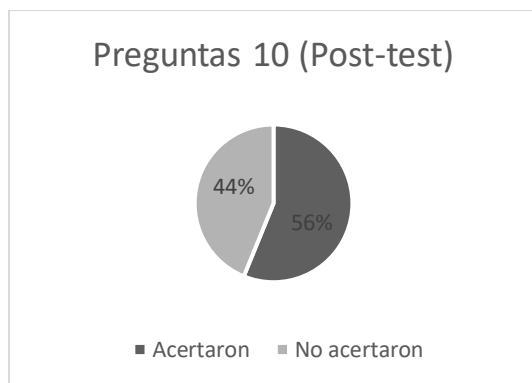
En el post-test, el porcentaje de aciertos aumentó a 55%, reflejando una mejora de 6 puntos porcentuales. Este aumento, aunque modesto, indica que la secuencia didáctica tuvo un impacto positivo, logrando que más estudiantes interiorizaran la relación entre disposición atómica y nomenclatura estructural.

A pesar del progreso, el hecho de que casi la mitad de los estudiantes aún no reconozca la configuración BCC sugiere que es necesario seguir reforzando este concepto, especialmente con representaciones tridimensionales que permitan visualizar la ubicación precisa de los átomos.

#### 14.3.10. Pregunta 10



Gráfica 23 Pregunta 10 (Pre-test)



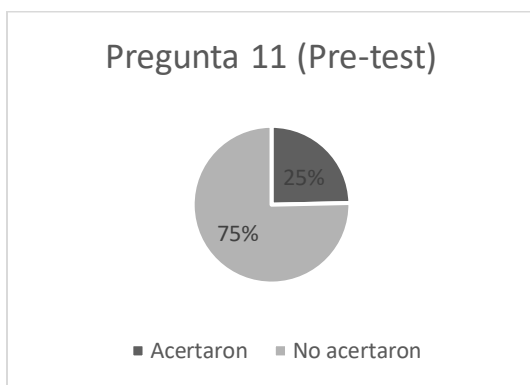
Gráfica 24 Pregunta 10 (Post-test)

Esta pregunta buscaba evaluar si los estudiantes podían determinar el número de átomos por celda unidad en una estructura FCC, donde los átomos están ubicados en las esquinas y en el centro de cada cara del cubo, dando como resultado 9 átomos por celda.

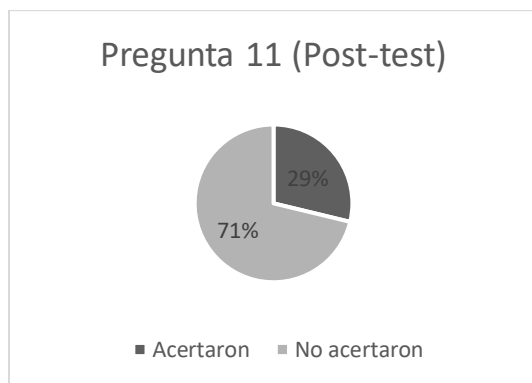
En el pre-test, solo el 16% de los estudiantes respondió correctamente, indicando un nivel bajo de comprensión sobre la ocupación atómica en estructuras tridimensionales complejas.

En el post-test, se observa un aumento hasta el 56% de respuestas correctas, lo que representa una mejora de 40 puntos porcentuales. Esto sugiere que la secuencia didáctica tuvo un impacto significativo en la comprensión de la geometría y contribución atómica de los sólidos cristalinos, aunque una porción del grupo aún no logra realizar correctamente este cálculo, lo que señala la necesidad de seguir reforzando este concepto.

#### 14.3.11. Pregunta 11



Gráfica 25 Pregunta 11 (Pre-test)



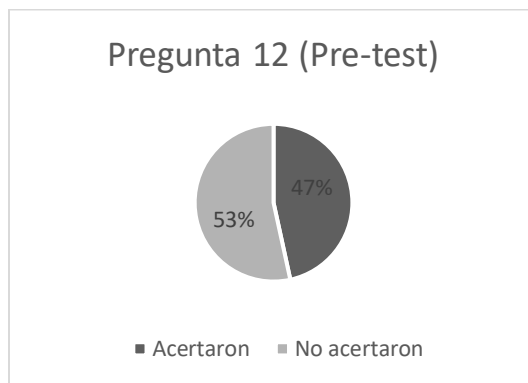
Gráfica 26 Pregunta 11 (Post-test)

La pregunta 11 tenía como propósito identificar la diferencia estructural entre las dos formas más eficientes de empaquetamiento atómico: el cúbico compacto y el hexagonal compacto, especialmente en términos de su disposición de capas.

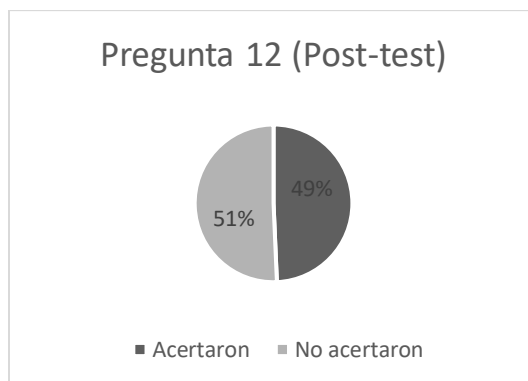
En el pre-test, solo el 25% de los estudiantes respondió correctamente, lo que indica que el conocimiento inicial sobre las diferencias estructurales y simétricas entre FCC y HCP era muy limitado.

Después de la intervención, el porcentaje de aciertos aumentó al 29%, lo cual representa un incremento del 4%. Este resultado sugiere que el tema sigue siendo conceptualmente difícil para los estudiantes, probablemente por la similitud visual y terminológica entre ambos empaquetamientos, y que debe abordarse más a profundidad para facilitar su diferenciación.

#### 14.3.12. Pregunta 12



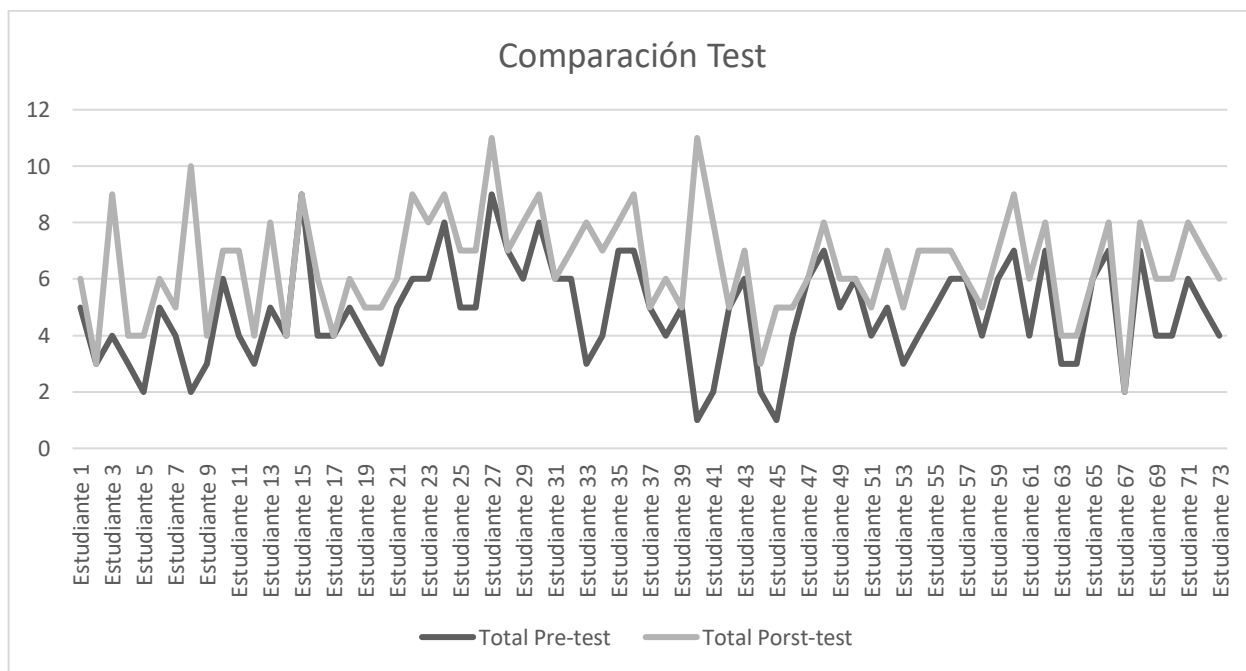
Gráfica 27 Pregunta 12 (Pre-test)



Gráfica 28 Pregunta 12 (Post-test)

Esta pregunta evaluaba si los estudiantes podían relacionar el índice de coordinación con una estructura específica, en este caso, la cúbica centrada en las caras (FCC) o la hexagonal compacta (HCP), ambas con un índice de coordinación de 12.

En el pre-test, el 53% de los estudiantes respondió incorrectamente, lo cual sugiere que la mitad del grupo no contaba con una noción razonable sobre esta propiedad estructural. En el post-test, el porcentaje de aciertos ascendió ligeramente al 49%, lo que puede interpretarse como un estancamiento en el aprendizaje de este concepto, probablemente porque no fue suficientemente enfatizado o vinculado con ejemplos prácticos durante la intervención. Este resultado indica que, a pesar de su importancia estructural, el índice de coordinación es un concepto que aún requiere mayor trabajo didáctico para lograr ser comprendido en profundidad y aplicado de forma contextual.



Gráfica 29 Comparación Pre-test vs Post-test

La gráfica de comparación entre los resultados del pre-test y el post-test evidencia una mejora generalizada en el rendimiento académico de los estudiantes tras la implementación de la secuencia didáctica mediada por el chatbot. Se observa que, en la mayoría de los casos, las puntuaciones del post-test (línea gris clara) superan visiblemente a las del pre-test (línea gris oscura), lo que sugiere un avance significativo en la comprensión de los contenidos trabajados.

Aunque algunos estudiantes presentan puntuaciones similares en ambas pruebas, no se evidencia retroceso en ningún caso, lo que refuerza la idea de que la intervención fue efectiva como estrategia de refuerzo y acompañamiento.

Además, la distribución más regular de los puntajes en el post-test refleja una menor dispersión y, por tanto, una mayor homogeneidad en el aprendizaje alcanzado por el grupo. Esto indica que la herramienta contribuyó no solo a elevar el nivel de desempeño general, sino también a cerrar brechas entre estudiantes con diferentes ritmos de aprendizaje, promoviendo así una educación más equitativa y personalizada.

## **15. Conclusiones y sugerencias**

### **15.1. Conclusiones**

La presente investigación evidenció la pertinencia de diseñar e implementar una secuencia didáctica mediada por un chatbot educativo para el aprendizaje de las estructuras geométricas de la cristalografía. En el pretest aplicado inicialmente a los estudiantes de grado once del Colegio María Mercedes Carranza, se observó que el 23,28% no alcanzó ni siquiera la mitad del puntaje total, lo que reflejó un bajo dominio conceptual en temas como empaquetamiento atómico, redes cristalinas cúbicas y representación tridimensional.

La secuencia didáctica diseñada, estructurada en actividades teóricas y prácticas apoyadas por un chatbot basado en IA, permitió generar un entorno de aprendizaje más dinámico y adaptado al ritmo individual de cada estudiante. A través de esta interacción, los estudiantes accedieron a explicaciones inmediatas, retroalimentación constante y ejercicios que promovieron la exploración autónoma. Además, se fomentó el pensamiento crítico, al contrastar respuestas del chatbot con el conocimiento disciplinar guiado por el docente.

Posterior a la intervención, los resultados del post-test reflejaron una mejora significativa en el rendimiento académico, evidenciando que el 83,87% de los estudiantes aumentó su puntaje, con avances destacados en las preguntas previamente identificadas como críticas. Estos datos respaldan que el uso pedagógico de tecnologías como los chatbots no solo mejora los resultados cuantitativos, sino que también fortalece habilidades cognitivas fundamentales como la interpretación, el análisis y la comprensión espacial.

### **15.2. Recomendaciones**

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda seguir explorando el uso de herramientas de inteligencia artificial en contextos educativos, especialmente en áreas del conocimiento que exigen alto nivel de abstracción, como la química inorgánica. El desarrollo de chatbots específicos para asignaturas escolares puede convertirse en un recurso valioso que complemente las estrategias pedagógicas tradicionales, fomentando el aprendizaje autónomo y el pensamiento crítico desde edades tempranas.

Para futuras implementaciones, es fundamental que el uso de estos recursos tecnológicos esté acompañado de una planificación didáctica clara, que contemple momentos de interacción guiada, espacios de discusión presencial y seguimiento docente. La inteligencia artificial no debe concebirse como un sustituto del rol del educador, sino como una herramienta que, bien orientada, amplifica las oportunidades de enseñanza-aprendizaje en el aula.

También se recomienda fortalecer las competencias digitales tanto de docentes como de estudiantes, para que la interacción con tecnologías emergentes sea crítica, ética y pedagógicamente significativa. En este sentido, los programas de formación docente deben incorporar el uso de inteligencia artificial aplicada a la educación, permitiendo que los maestros no solo dominen las plataformas, sino que también comprendan su potencial y sus limitaciones.

## 16. Referencias bibliograficas

De Almeida, W. C., & Dos Santos, E. O. (2021). Chatbots for teacher training: New possibilities for network learning. *Civitas*, *21*(2), 248–259. <https://doi.org/10.15448/1984-7289.2021.2.39635>

Delgado-Rodríguez, S., García-Fandiño, R., & Carrascal-Domínguez, S. (2023). Tecnología inmersiva e inteligencia artificial para la mejora de la atención a la diversidad, la equidad e inclusión del alumnado. *Dialogia*, *47*, e25204. <https://doi.org/10.5585/47.2023.25204>

Estrada-Araoz, E. G., Quispe-Aquise, J., Malaga-Yllpa, Y., Larico-Uchamaco, G. R., Pizarro-Osorio, G. R., Mendoza-Zuñiga, M., Velasquez-Bernal, A. C., Roque-Guizada, C. E., & Huamaní-Pérez, M. I. (2024). Role of artificial intelligence in education: Perspectives of Peruvian basic education teachers. *Data and Metadata*, *3*. <https://doi.org/10.56294/dm2024325>

Frutos, N. D. de, Carrasco, L. C., Maza, M. S. de la, & Etxabe-Urbieta, J. M. (2024). Application of Artificial Intelligence (AI) in Education: Benefits and Limitations of AI as Perceived by Primary, Secondary, and Higher Education Teachers. *Revista Electronica Interuniversitaria de Formacion Del Profesorado*, *27*(1), 207–224. <https://doi.org/10.6018/reifop.577211>

Gallent-Torres, C., Zapata-González, A., & Ortego-Hernando, J. L. (2023). The impact of Generative Artificial Intelligence in higher education: a focus on ethics and academic integrity. *RELIEVE - Revista Electronica de Investigacion y Evaluacion Educativa*, *29*(2). <https://doi.org/10.30827/RELIEVE.V29I2.29134>

Goenechea, C., & Valero-Franco, C. (2024). Education and Artificial Intelligence: An Analysis Based on the Perspective of Teachers in Training. *REICE. Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio En Educacion*, *22*(2), 33–50. <https://doi.org/10.15366/reice2024.22.2.002>

Hernández-León, N., & Rodríguez-Conde, M. J. (2024). Artificial intelligence applied to education and educational assessment at the university: introduction of intelligent tutoring systems, recognition systems, and other future trends. *Revista de Educación a Distancia*, *24*(78). <https://doi.org/10.6018/red.594651>

Navarro-Dolmestch, R. (2023). Risks and Challenges Posed by Artificial Intelligence Generative Applications for Academic Integrity. *Derecho PUCP*, *91*, 231–270. <https://doi.org/10.18800/derechopucp.202302.007>

Numa-Sanjuán, N., Diaz-Guecha, L. Y., & Peñaloza-Tarazona, M. E. (2024). Importance of Artificial Intelligence in education in the 21st century. *Aibi, Revista de Investigacion Administracion e Ingenierias*, 12(2), 49–62. <https://doi.org/10.15649/2346030X.3776>

Palacios, A., Pascual, V., & Moreno-Mediavilla, D. (2022). The role of new technologies in STEM education. *Bordon. Revista de Pedagogia*, 74(4), 11–21. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.96550>

Pambudi, F. I., Anderson, M. W., & Attfield, M. P. (2019). Unveiling the mechanism of lattice-mismatched crystal growth of a core-shell metal-organic framework. *Chemical Science*, 10(41), 9571–9575. <https://doi.org/10.1039/c9sc03131f>

Recalde Drouet, E. M., Tello Salazar, D. M., Charro Domínguez, T. L., & Catota Pinthsa, P. J. (2024). Analysis of the repercussions of Artificial Intelligence in the Personalization of the Virtual Educational Process in Higher Education Programs. In *Data and Metadata* (Vol. 3). Editorial Salud, Ciencia y Tecnologia. <https://doi.org/10.56294/dm2024386>

Sanabria-Navarro, J. R., Silveira-Pérez, Y., Pérez-Bravo, D. D., & de-Jesús-Cortina-Núñez, M. (2023). Incidences of artificial intelligence in contemporary education. *Comunicar*, 31(77). <https://doi.org/10.3916/C77-2023-08>

Sarrazola-Alzate, A. (2022). *Uso de ChatGPT como herramienta en las aulas de clase*. <https://doi.org/10.24050/reia>

Xu, C., Yuan, Q., Wei, X., Li, H., Shen, H., Kang, X., & Zhu, M. (2022). Surface environment complication makes Ag<sub>29</sub>nanoclusters more robust and leads to their unique packing in the supracrystal lattice. *Chemical Science*, 13(5), 1382–1389. <https://doi.org/10.1039/d1sc06002c>

Zielinski, C., Winker, M. A., Aggarwal, R., Ferris, L. E., Heinemann, M., Lapeña, J. F., Pai, S. A., Ing, E., Citrome, L., Alam, M., Voight, M., & Habibzadeh, F. (2024). CHATBOTS, GENERATIVE AI, AND SCHOLARLY MANUSCRIPTS. *Brunei International Medical Journal*, 20, 3–7. <https://doi.org/10.25100/cm.v54i3.5868>

