Desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en el contexto de la Nomenclatura Inorgánica desde la Realidad Aumentada

Kelvin Amilcar Requena

Director

Yair Alexander Porras Contreras

Doctor en Innovación e Investigación en Didáctica

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Docencia de la Química

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Química

Bogotá, D.C.

2026

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fortaleza y la guía para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, especialmente a mi madre, gracias por su apoyo constante y por acompañarme en todo momento.

A mi director, el profesor Yair Porras, por su guía y orientación académica y aportes durante todo el proceso de construcción de esta investigación.

Agradezco a los profesores de la Maestría en Docencia de la Química por sus conocimientos, que han enriquecido mi desarrollo profesional y académico.

A los directores de Mount Carmel High School, Anselma Rosado y Víctor Miranda, por apoyarme durante la maestría y en el desarrollo de la investigación.

A los estudiantes de química del tercer año (promoción 2027) de Mount Carmel High School en Benque Viejo del Carmen, Belize.

A todas las personas que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo durante la maestría y contribuyeron a sacar adelante este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción 9

2. Antecedentes 12

3. Planteamiento del problema 20

4. Justificación 24

5. Objetivos 26

6. Marco Teórico 27

   6.1. ¿Qué es la nomenclatura química inorgánica? 27

   6.2. Nomenclatura Sistemática 28

   6.3. Nomenclatura Stock 30

   6.4. Nomenclatura Tradicional 32

   6.5. ¿Qué es la resolución de problemas? 35

   6.6. ¿Qué son los dilemas? 36

   6.7. Rol del docente en la resolución de problemas 37

   6.8. Rol del estudiante en la resolución de problemas 37

   6.9. ¿Qué es la realidad aumentada? 38

   6.10. El modelo de las 7E 39

7. Marco Metodológico 42

   7.1. Diseño de estudio 42

7.2. Población de estudio 42

7.3. Recolección de datos 43

7.4. Análisis de Datos 44

7.5. Fases de la Investigación 52

8. Resultados y Análisis 55

8.1. Resultado de prueba diagnóstica de pretest 55

8.2. Diseño de estrategia didáctica 60

8.3. Resultados de estrategia didáctica 83

8.4. Resultados del postest 91

9. Conclusiones 101

10. Referencias Bibliografía 104

Anexos 110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Prefijos multiplicativos simples. Fuente: Compilación propia (2025)..... 28

Tabla 2. Lista de prefijos y sufijos utilizados en el sistema tradicional. Fuente: Compilación propia (2026)..... 32

Tabla 3. Ejemplos de nomenclatura tradicional de óxidos, hidróxidos y oxiácidos. Fuente: Elaboración propia (2026) 33

Tabla 4. Ejemplos de nomenclatura tradicional de oxisales. Fuente: elaboración propia (2026).35

Tabla 5. Fases del modelo 7E. Adaptado de Rahman y Chavhan (2022). 40

Tabla 6. Aspectos e indicadores de la habilidad de resolución de problemas. Adaptado de Nugroho y Masykuri (2025). 44

Tabla 7. Relación entre las fases del modelo 7E, los indicadores y las evidencias de resolución de problemas. 48

Tabla 8. Interpretación de N-gain (Hakea, 1998)..... 50

Tabla 9. Valores del coeficiente alfa de Cronbach según Streiner (2003, como se citó en Jugessur, 2022)..... 51

Tabla 10. Valores de Cohen's d (Cook et al., 2018; Goulet-Pelletier y Cousineau, 2018) 52

Tabla 11. Fases del desarrollo de la investigación. 52

Tabla 12. Valores de correlación corregidos entre ítems y el alfa de Cronbach en caso de eliminar un ítem para evaluar la habilidad de resolución de problemas..... 60

Tabla 13. Desarrollo de las fases del diseño de la estrategia didáctica mediante el modelo 7E. . 61

Tabla 14. Análisis estadístico de los resultados del pretest y del postest..... 92

Tabla 15. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk 93

Tabla 16. Resultados de la prueba de paired-sample t-test. 94

Tabla 17. Comparación de respuestas entre el pretest y el postest..... 98

LISTA DE GRÁFICAS Y FIGURAS

Gráfica 1. Notas obtenidas en la prueba diagnóstica de pretest..... 57

Figura 1. Componentes básicos de la nomenclatura química según la descripción de Leigh (2011). Fuente: Elaboración propia, diseñada en Adobe Illustrator (2025)..... 28

Figura 2. Pasos del modelo IDEALS. Elaborado a partir de Snyder y Snyder (2008)..... 36

Figura 3. Componentes principales de la realidad aumentada propuestos por Azuma (1997) y Craig (2013). Fuente: elaboración propia, diseñada con Napkin IA (2025)..... 38

Figura 4. Imágenes del trabajo realizado por los estudiantes en las fases iniciales de la secuencia didáctica. 84

Figura 5. Imagen de hoja de trabajo sobre el uso de la realidad aumentada en química..... 85

Figura 6. Resultados obtenidos de la contextualización de la nomenclatura inorgánica..... 86

Figura 7. Resultado de las hojas de trabajo de la integración entre la nomenclatura inorgánica y la realidad aumentada. 88

Figura 8. Reflexión sobre el uso de la realidad aumentada en el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica..... 89

Figura 9. Ejemplo de ficha de problema y de solución propuesta por los estudiantes. 90

Figura 10. Diagrama de interpretación de los valores de N-gain. 95

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Instrumento de Evaluación. 110

Anexo B. Rúbrica de evaluación del proceso de resolución de problemas. Adaptado de Nugroho y Masykuri (2025)..... 114

Anexo C. Matriz de puntuación del pretest por estudiante e ítem..... 114

Anexo D. Matriz de puntuación del postest por estudiante e ítem. 115

Anexo E. Resultados obtenidos del pretest y del postest. 118

Anexo F. Rutina de +1 119

Anexo G. Fichas de situaciones problema 121

Anexo H. Hoja de contextualización de la nomenclatura inorgánica..... 124

Anexo I. Hoja de reflexión sobre el uso de RA..... 126

Anexo J. Hoja de trabajo para el uso de la RA para modelizar compuestos químicos 127

Anexo K. Hoja de reflexión sobre el uso de la RA para comprender la nomenclatura inorgánica. 129

Anexo L. Validación de instrumento de evaluación 130

1. INTRODUCCIÓN

La integración de la ciencia y la tecnología se considera necesaria para el aprendizaje de conceptos científicos, en especial de la química, ya que los conocimientos tecnológicos proporcionan una perspectiva distinta en los procesos de modelización, permitiendo que los estudiantes visualicen conceptos abstractos de manera diferente y los apliquen en los contextos en los que se desenvuelven. Una estrategia didáctica pensada desde el uso de recursos tecnológicos en el aula, brinda la posibilidad de promover el interés de los estudiantes en los procesos de aprendizaje, incrementando su motivación y generando en el profesor una actitud hacia la innovación que alimenta las estrategias de enseñanza (Benítez Romero, 2017).

La tecnología basa su surgimiento en el desarrollo de artefactos con los cuales resolver necesidades, para de esta manera actuar sobre el mundo con base en un andamiaje cognitivo, el cual nos permite reflexionar sobre dichas acciones, y de igual manera construir sobre lo que ya otros han construido (Dron, 2023). El conocimiento científico y tecnológico en la escuela incluye métodos de enseñanza y aprendizaje que han evolucionado para promover la construcción de la realidad, lo que ha favorecido una nueva perspectiva de aprendizaje que el modelo tradicional no suele ofrecer.

En el caso particular de Belize, lugar donde se desarrollará la presente investigación, en el marco de la reforma educativa de 2022-2023 se introdujo la educación basada en competencias, un enfoque que busca desarrollar el pensamiento crítico en los estudiantes, integrando el pensamiento científico y tecnológico para la resolución de problemas contextualizados. Un aspecto del pensamiento crítico que esta reforma educativa busca impulsar es el uso de la tecnología en el aula para complementar el aprendizaje significativo de los

estudiantes. Vale la pena mencionar que el uso de tecnologías de realidad aumentada en el aula todavía es ajeno en Belice, debido a una infraestructura limitada que afecta a un número considerable de instituciones educativas.

La realidad aumentada se convierte en una tecnología que nos permite visualizar modelos en 3D en química, la cual ha tenido bastante éxito en el estudio de la estructura atómica y molecular, los cuales de otra forma serían visualizados de una forma plana y sin poder interactuar con el modelo, tal como ocurre con los métodos tradicionales los cuales son empleados para promover el aprendizaje (Duc y Quang, 2024). Si bien la realidad aumentada tiene un valor educativo confirmado, también se han identificado sus limitaciones, particularmente al integrar la tecnología de la RA con el contenido educativo (Ribič y Devetak, 2025). Con el uso de la realidad aumentada en el aula, no solo se brinda una nueva perspectiva del aprendizaje en la química, sino que tiende a reducir la carga mental experimentada por los estudiantes al intentar interactuar y visualizar distintos modelos químicos (Keller et al., 2021). Esto permite no solo integrar el uso de la tecnología en el aula, sino también facilitar el aprendizaje y promover diversas habilidades en química.

En este contexto y considerando las limitaciones tecnológicas de un aula en Belice, así como la necesidad de fortalecer la habilidad de resolución de problemas durante el aprendizaje de la química, este estudio tiene como objetivo analizar el impacto de una estrategia didáctica centrada en la indagación y en el modelo de las 7 E desarrollado por Eisenkraft (2003, citado en Rahman y Chavhan, 2022) para el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica y el desarrollo de dicha habilidad en estudiantes de educación secundaria de Belice. En consecuencia, este estudio busca aportar una alternativa pedagógica que promueva el uso significativo de la tecnología en el

aula, favorezca el desarrollo de habilidades de resolución de problemas durante el aprendizaje y cumpla con los objetivos planteados en la reforma educativa.

Para facilitar la comprensión de la investigación, este documento está organizado secuencialmente en función de los principales elementos del proceso. Primero, se abordan la contextualización del problema, los antecedentes, la justificación y los objetivos que sustentan la relevancia del estudio. Luego, se presenta el marco teórico, en el que se abordan los conceptos relacionados con la nomenclatura inorgánica, la resolución de problemas, la realidad aumentada y el modelo 7E. Posteriormente, se expone el marco metodológico, que describe el enfoque de investigación, los participantes, los instrumentos, las fases de implementación y los procedimientos para analizar la información. Finalmente, se incluyen los resultados y su discusión, las conclusiones, las referencias bibliográficas y los anexos que respaldan el desarrollo del estudio.

2. ANTECEDENTES

Durante el desarrollo de este estudio, se han consultado y analizado diversas investigaciones, tanto en el ámbito colombiano como en el ámbito internacional, que han servido de guía para contextualizarlo y, de esta manera, estructurarlo en torno a los objetivos planteados. A continuación, se presentan los trabajos más pertinentes que contribuyen a esta investigación, en orden cronológico. Las investigaciones que se presentan a continuación se centran en el uso de la realidad aumentada para promover el aprendizaje de la química.

En el trabajo de Garrido-Escudero (2013) en España, titulado "Using a Hands-On Method to Help Students Learn Inorganic Chemistry Nomenclature via Assembly of Two-Dimensional Shapes", contextualizado en el sistema educativo español, los autores proponen introducir y evaluar la eficacia del método FORMula, que utiliza formas bidimensionales para ayudar a los estudiantes a superar las barreras comunes en el aprendizaje de la nomenclatura de la química inorgánica. Estas barreras incluyen la falta de familiaridad con los elementos de la tabla periódica, la falta de conocimiento sobre la configuración electrónica y los estados de oxidación de los elementos, la dificultad para identificar el tipo de compuesto químico, la falta de conocimiento de la nomenclatura química sistemática y sus reglas y, por último, la dificultad para entender las fórmulas químicas o comprender lo que representan sus nombres. Esta investigación, aplicada a dos grupos de estudiantes sin educación previa en química, en colaboración con maestros de química, incluidos educadores de la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles), utilizó el método comparativo experimental para evaluar la eficacia del método Fórmula frente al tradicional. Los resultados de este trabajo demuestran un impacto positivo en el uso de las formas bidimensionales, ya que los estudiantes lograron superar

los tres primeros obstáculos planteados en relación con la nomenclatura de la química inorgánica.

En otro trabajo de investigación titulado “El uso de las TIC para el fortalecimiento del proceso de enseñanza y aprendizaje de la nomenclatura inorgánica”, elaborado por Benítez Romero (2017) se propone el aprendizaje significativo de la nomenclatura inorgánica mediante herramientas tecnológicas. Esta investigación de corte cuantitativo (pretest y postest) se desarrolló con estudiantes de grado décimo de la jornada de la tarde del Colegio de San José de Castilla IED. Los resultados de esta investigación demuestran que las estrategias didácticas apoyadas en el uso de recursos tecnológicos favorecen el aprendizaje significativo del tema de nomenclatura inorgánica, ya que generan mayor interés por parte de los estudiantes y motivación en los docentes, lo que les permite modificar e innovar sus metodologías de enseñanza.

En este contexto, Bacca Acosta et al. (2019) presentan y validan un marco para el diseño y la aplicación de RA que parte de la motivación, basada en el modelo ARCS[1], en su trabajo de investigación titulado “Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training”. Este estudio sigue los pasos del enfoque cuasiexperimental con grupos experimentales y de control, aplicado a estudiantes de química inscritos en un programa de formación y educación vocacional (VET) para la operación de laboratorios en institutos VET de España y Colombia. Los resultados de esta investigación demuestran un impacto positivo en la motivación de los estudiantes de los distintos grupos. De igual manera, se demostró que el uso de aplicaciones con RA tiende a impulsar niveles más altos de motivación en los estudiantes en las dimensiones de atención y confianza durante el aprendizaje. Por último, los resultados de la investigación demuestran que el uso de tecnologías de RA para promover la

[1] El modelo ARCS tiene la dimensión de atención, relevancia, confianza y satisfacción, este modelo fue desarrollado por John Keller en el 2010.

motivación debe alinearse con los objetivos principales del aprendizaje para obtener mejores resultados.

Por su parte, Abdinejad et al. (2020) en su trabajo de investigación, titulado “Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education”, tuvo como objetivo evaluar las percepciones y actitudes de los estudiantes respecto a las herramientas de realidad aumentada (RA) y de animación 3D, para aumentar la motivación en el aprendizaje y la comprensión de la química mediante la visualización de complejas estructuras moleculares y reacciones de química orgánica. Esta investigación, realizada en la Universidad de Toronto Scarborough con estudiantes de segundo año de química orgánica, utilizó un método cualitativo-cuantitativo basado en cuestionarios y encuestas para evaluar distintas animaciones 3D y la aplicación ARchemy desarrolladas para esta investigación. Los resultados de esta investigación son positivos en cuanto a la eficacia de las tecnologías aplicadas para la comprensión de conceptos químicos complejos por parte de los estudiantes, ya que permiten superar las limitaciones de los métodos tradicionales, como el uso de esferas y varillas. De igual manera, se indica que herramientas como ARchemy pueden apoyar iniciativas de inclusión digital al facilitar el acceso a materiales educativos en plataformas móviles.

Elford et al. (2022), en su trabajo de investigación titulado “Exploring the Effect of Augmented Reality on Cognitive Load, Attitude, Spatial Ability, and Stereochemical Perception”, exploran el impacto de la integración de la realidad aumentada en el aprendizaje de VESPER mediante su uso en una actividad de modalidad virtual y asincrónica. Esta investigación, aplicada en un módulo del curso de química general de la Universidad de East Anglia, contó con la participación de 77 estudiantes de primer año de educación superior del Reino Unido. Con una metodología mixta, con pruebas pretest y postest, en las que se emplearon

instrumentos cuantitativos como la escala de carga cognitiva (CLS), el inventario sobre la actitud hacia el estudio de la química (ASCI V2), el instrumento de prueba VSEPR y la prueba de visualización de rotación de Purdue (ROT), e instrumentos cualitativos como las entrevistas semiestructuradas, esta investigación obtuvo los siguientes resultados. El uso de RA se percibe como beneficioso para la comprensión de la estructura molecular, pero su integración no condujo a una mejora significativa del rendimiento académico en comparación con los métodos tradicionales.

Por otra parte, la investigación desarrollado por Gervasi et al. (2023) desarrollada en Italia, titulada "Empowering Knowledge with Virtual and Augmented Reality", tuvo como objetivo explorar cómo la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) pueden utilizarse para la adquisición y la difusión de conocimientos. Esta investigación, aplicada a estudiantes de tercer y quinto año de tres distintos colegios italianos ubicados en las ciudades de Foligno y Perugia, utilizó cuestionarios pretest y postest para evaluar la receptividad de los estudiantes al uso de la RV y la RA, así como las diferencias entre estudiantes que participaron de forma remota y aquellos que participaron de forma presencial. Este estudio demostró que no hubo gran diferencia entre los resultados obtenidos por los estudiantes que participaron de forma remota o presencial, salvo en la interacción y el trabajo grupal. De igual manera, se demostró que la VR y la RA son tecnologías de gran ayuda que deben utilizarse en la educación y que la VR mostró un mejor desempeño con los estudiantes en comparación con la RA. Pero cabe destacar que el costo de los recursos necesarios para estas tecnologías beneficia principalmente a la RA, gracias a su bajo costo y a la flexibilidad de la infraestructura necesaria para integrarlas y utilizarlas.

En un segundo trabajo desarrollado en 2023 por Yamtinah et al. (2023), titulado "Augmented reality learning media based on tetrahedral chemical representation: How effective

in learning process?", se tuvo como objetivo diseñar recursos de aprendizaje basados en la RA para las representaciones tetraédricas y analizar el impacto de estos recursos en el aprendizaje de los estudiantes. Esta investigación, con un enfoque de investigación-desarrollo basado en el modelo ADDIE (análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación), se realizó con un grupo de 16 docentes de química y 35 estudiantes de tres colegios, deliberadamente seleccionados en la ciudad de Surakarta, en Java Central, Indonesia. De esta investigación, los resultados indican que la implementación de la RA en recursos de aprendizaje no solo es efectiva, pues se traduce en un mejoramiento del aprendizaje, sino que el uso de estos recursos tiende a facilitar la capacidad de los estudiantes para explorar conceptos químicos. Por otra parte, en la modalidad de aprendizaje virtual, estos recursos no tienden a promover el aprendizaje debido a la escasa aplicación de la RA en los recursos de aprendizaje de esta modalidad.

En 2024 existen dos trabajos destacados sobre el uso de la realidad aumentada como recurso para el aprendizaje de conceptos químicos: el primero, elaborado por Carrizo et al. (2024), y el segundo, por Ripsam y Nerdel (2024). En la investigación de Carrizo et al. (2024) realizada en la provincia de Salta, Argentina, titulada "Talleres áulicos enriquecidos con realidad aumentada: una iniciativa para promover la alfabetización científica", se pretende revelar las posibilidades educativas que ofrece la RA para promover la alfabetización científica, en particular la construcción motivante de conocimientos en química, mediante la selección de aplicaciones y actividades propuestas en diversos talleres de educación primaria y secundaria. Esta investigación, realizada con estudiantes universitarios de educación primaria y secundaria, así como con el profesorado universitario en química, utilizó un enfoque mixto en una modalidad de investigación-acción colaborativa, en la que se emplearon encuestas y sesiones de reflexión. De esta investigación, los resultados demuestran que las actividades enriquecidas con RA

produjeron un alto grado de motivación para el aprendizaje de las temáticas científicas abordadas, lo cual se evidenció en la participación atenta, comprometida y entusiasta de los estudiantes.

Por otra parte, Ripsam y Nerdel (2024) realizaron su investigación en Alemania, titulada "Augmented reality for chemistry education to promote the use of chemical terminology in teacher training", cuyo objetivo fue explorar la efectividad del aprendizaje en un entorno que utiliza la RA para promover el uso de la terminología química y el concepto de sustancia-partícula mediante múltiples representaciones externas (M)ER en docentes de química. Esta investigación se aplicó a 30 docentes de educación secundaria, con un enfoque mixto, en el que se hizo uso de un pre/post test para cuantificar los cambios en el entendimiento y el uso de la terminología química, y de un protocolo de pensamiento en voz alta para evaluar la calidad del razonamiento cognitivo y de las estrategias planteadas, utilizando dicha terminología para la realización de las distintas tareas. De los resultados obtenidos en esta investigación se concluyó que el diseño didáctico y los medios de un entorno de aprendizaje digital de una materia, como la integración de símbolos y el uso de (M)ER, pueden influir positivamente en el procesamiento cognitivo. En cambio, el uso de la RA tiene el potencial de promover el uso de (M)ER y, por ende, la comprensión de los conceptos de sustancia y partícula, dado que favorece el proceso de modelización.

La investigación desarrollada por Nababan et al. (2025) en Indonesia, titulada "Augmented Reality-Based Smart Digital Interactive Media to Enhance High School Students' Socio-Scientific Reasoning in Chemistry", tuvo como objetivo desarrollar y evaluar un medio digital de aprendizaje interactivo e inteligente basado en la realidad aumentada (Smart-DIL) para fortalecer la enseñanza de la química en el área de razonamiento socio-científico, así como las

habilidades del siglo XXI. Como resultado, la investigación permitió el desarrollo exitoso del Smart-DIL, que demostró alta validez y practicabilidad, cumpliendo el criterio de implementación como recurso didáctico para la enseñanza de la química en contextos socio-científicos. Por otra parte, los resultados de la implementación de Smart-DIL demostraron un mejoramiento en el razonamiento sociocientífico de los estudiantes, en el área de análisis de pruebas y de construcción de argumentos, lo que se tradujo en un desarrollo positivo de las habilidades del siglo XXI.

Recientemente, Nadila y Dwiningsih (2026) desarrollaron una investigación titulada "Augmented Reality Based Flashcards to Improve Senior High School Students' Visual Intelligence in Chemistry Learning", cuyo objetivo fue crear tarjetas didácticas basadas en realidad aumentada para mejorar la inteligencia visual de los estudiantes en el aprendizaje de los enlaces covalentes de manera válida, práctica y eficaz. Esta investigación, con un enfoque de investigación-desarrollo basado en el modelo ADDIE (análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación), se realizó con un grupo de 20 estudiantes de 11.º grado del curso de matemáticas y ciencias naturales (MIPA) del colegio SMA AL Falah Ketintang, en Surabaya, Indonesia. De esta investigación, los resultados indican que el uso de tarjetas didácticas basadas en realidad aumentada es válido, práctico y eficaz como medio tecnológico para mejorar el aprendizaje y el desarrollo de la inteligencia visual en la enseñanza de la química, en particular en el tema de los enlaces covalentes.

En conjunto, los estudios revisados permiten identificar tres elementos clave que respaldan la formulación del problema de investigación. Primero, el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica presenta dificultades relacionadas con la identificación de fórmulas, reglas, tipos de compuestos, estados de oxidación y la relación entre el nombre y la composición

química, como señala Garrido-Escudero (2013). Luego, las tecnologías digitales y la realidad aumentada pueden mejorar la motivación, la visualización y la comprensión de conceptos químicos abstractos, aunque su efectividad depende del diseño didáctico, del contexto de implementación y de la articulación con objetivos de aprendizaje bien definidos, según señalan Bacca Acosta et al. (2019), Elford et al. (2022), Gervasi et al. (2023) y Ripsam y Nerdel (2024). En tercer lugar, los estudios recientes muestran que la RA tiene potencial para apoyar el razonamiento, la argumentación y la representación en química, pero aún se necesitan investigaciones específicas que analicen su impacto en contextos escolares concretos y en habilidades cognitivas para la resolución de problemas. Por ello, el objetivo de esta investigación se justifica al integrar la nomenclatura inorgánica, la realidad aumentada y el modelo 7E en un contexto educativo beliceño con limitaciones tecnológicas, para analizar no solo el aprendizaje conceptual, sino también el desarrollo de habilidades para resolver problemas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos 20 años, la educación en ciencias ha sufrido una serie de transformaciones, pasando de una enseñanza centrada en el protagonismo del profesor a un enfoque de pedagogía activa, cuyo epicentro está en el papel del estudiante y en el proceso mediante el cual se construyen conocimientos, actitudes y habilidades. De igual manera, el uso de la tecnología y los recursos digitales se ha convertido en una parte integral del aula, lo cual supone un cambio en los modelos didácticos empleados hoy en día, particularmente cuando se fomenta el aprendizaje autónomo y la toma fundamentada de decisiones (Leupín, 2016). Por otro lado, la evolución de nuevos recursos digitales promueve el uso crítico de la información, permitiendo la alfabetización tanto digital como tecnológica en las aulas (Kilbane y Milman, 2013). Fuera de las distintas perspectivas en la educación, la integración de los recursos digitales y tecnológicos puede promover el desarrollo de habilidades que trascienden el aula; una de ellas es la resolución de problemas.

La realidad aumentada (RA) permite visualizar elementos mediante la superposición de capas digitales sobre el mundo real, en tiempo real. Estos elementos han sido aumentados, mejorados, enriquecidos u optimizados mediante elementos sensoriales generados por software. La importancia del uso de la RA, radica en ofrecer la oportunidad de romper las barreras formales de la educación tradicional, ya que ofrece una perspectiva diferente al aprendizaje de diversos conceptos y, de igual manera, puede llegar a permitir una conexión más profunda entre el estudiante y el aprendizaje que se está logrando (Steele et al., 2012).

El uso de la RA en el aprendizaje de la ciencia, en especial en la química, brinda la oportunidad de consolidar una perspectiva diferente sobre el manejo de los conceptos, ayudando a los estudiantes a comprender el mundo atómico-molecular a partir de lo macroscópico. Esto se

debe a que la comprensión del mundo submicroscópico tiende a ser demasiado compleja debido a los procesos de abstracción que los estudiantes deben aplicar (Laohapornchaiphan y Chenprakhon, 2024). La introducción de un recurso como la RA conecta la imaginación con una visualización interactiva de la realidad al superponerla al mundo real. Cabe notar que un recurso tecnológico como la RA permite la interacción cognitiva de forma constructiva y participativa, por lo que Castro-Alonso y Fiorella (2019) corroboran que dichas actividades tienden a ser más exitosas que las pasivas y se enmarcan en los modelos tradicionales que promueven determinados tipos de aprendizaje.

La realidad aumentada puede ser utilizada como una herramienta que promueve el aprendizaje de diferentes conceptos científicos en el aula, en el caso de la química la conexión entre los niveles de interpretación de la materia como el macroscópico, el submicroscópico y el simbólico, son explicados por Laohapornchaiphan y Chenprakhon (2024).

- Lo macroscópico es lo que puede manipularse y utilizarse para describir las propiedades, tanto físicas como químicas, con base en la experiencia y la observación.
- Lo simbólico es lo que se utiliza para representar sustancias químicas y los cambios que les ocurren con base en las ecuaciones químicas.
- Lo submicroscópico es el mundo íntimo de la materia, desde el cual se explican los átomos, iones o electrones para comprender el comportamiento de las diferentes sustancias químicas.

Considerando estos tres niveles de interpretación y el uso de la realidad aumentada como una opción para disminuir la carga cognitiva en el aprendizaje de conceptos químicos, esta investigación examina cómo una estrategia didáctica mediada por la realidad aumentada puede

favorecer el desarrollo progresivo de la habilidad de resolución de problemas en los estudiantes. De acuerdo con Qi et al. (2024), el uso de recursos como la RA puede promover el aprendizaje activo del estudiante al combinar distintos modelos de aprendizaje que priorizan habilidades cognitivas de alto nivel, lo que favorece el desarrollo del pensamiento crítico y, por ende, la resolución de problemas. La habilidad de resolución de problemas se desarrolla, en este caso, a partir de la experiencia directa que los estudiantes adquieren al participar en las actividades de clase. Uno de los temas que se beneficiarían del uso de la realidad aumentada para promover la resolución de problemas es la nomenclatura de la química inorgánica.

En este sentido, Bacca Acosta et al. (2019) sugieren que la nomenclatura inorgánica, en algunos casos, es percibida negativamente debido a la gran cantidad de material teórico que debe cubrirse, lo cual puede resultar difícil de asimilar y constituye la razón principal por la que los estudiantes tienden a perder interés en el tema.

En la enseñanza de la nomenclatura inorgánica, una dificultad común es que esta suele abordarse mediante métodos memorísticos centrados en reglas, listas de iones, terminaciones y ejercicios repetitivos, lo que limita la comprensión de la relación entre la fórmula, el nombre químico y la composición del compuesto (Bacca Acosta et al., 2019; Garrido-Escudero, 2013). Este enfoque puede llevar a que los estudiantes memoricen nombres o fórmulas sin entender la relación entre la composición del compuesto, el tipo de especie química, el número de oxidación y el sistema de nomenclatura utilizado (Garrido-Escudero, 2013). Desde el rol docente, el problema no solo radica en explicar las reglas, sino también en la falta de mediaciones didácticas que conecten los niveles macroscópico, simbólico y submicroscópico de la química, lo cual constituye una relación fundamental para entender conceptos químicos abstractos (Laohapornchaiphan y Chenprakhon, 2024). Desde el rol del estudiante, la dificultad surge

cuando no logra representar con claridad la situación-problema, relacionar los conceptos relevantes de la nomenclatura inorgánica y construir un esquema que le permita analizarla y proponer soluciones fundamentadas. Esta dificultad coincide con lo planteado por Jonassen (2000), quien indica que resolver problemas requiere construir una representación mental del problema y manipular su espacio; además, los estudiantes con esquemas poco desarrollados presentan mayores dificultades para reconocer el tipo de problema y escoger las estrategias más adecuadas para resolverlo. En cuanto al contenido, la nomenclatura inorgánica resulta abstracta porque exige identificar patrones, interpretar símbolos, distinguir diferentes tipos de compuestos, aplicar los estados de oxidación y justificar los nombres químicos de forma sistemática (Garrido-Escudero, 2013). Por ello, es necesaria una estrategia didáctica que no solo presente reglas, sino que también permita a los estudiantes visualizar, analizar, explicar y aplicar dichas reglas en contextos reales, mediante una secuencia de aprendizaje basada en la indagación, como la propuesta por el modelo 7E (Rahman y Chavhan, 2022).

Frente a estas limitaciones y con el objetivo de contribuir al aprendizaje de conceptos químicos, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera el uso de la realidad aumentada en el aprendizaje de la nomenclatura de la química inorgánica promueve el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en estudiantes de tercer año de secundaria de Mount Carmel High School, Benque Viejo del Carmen, Belize?

4. JUSTIFICACIÓN

La educación en ciencias no solo debe enfocarse en la adquisición de contenidos teóricos, sino que también debe hacer uso de recursos tecnológicos para integrar la interdisciplinariedad de la ciencia y así lograr el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas de forma práctica, velando por el desarrollo de una sociedad autoorganizada y cada vez más responsable (Quack, 2023).

En el ámbito de la nomenclatura química, resulta particularmente importante identificar los compuestos presentes en la vida cotidiana para comprender sus usos, peligros y potencialidades. La nomenclatura química permite una comunicación eficiente sobre la composición de las sustancias químicas, de forma inequívoca y universal. En el aula de clase, la nomenclatura química, en especial la inorgánica, utiliza el modelo tradicional, centrado en el nombramiento sistemático de compuestos químicos según el sistema propuesto por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Por ellos, se puede indicar varias limitaciones con respecto a dicho sistema tradicional, en particular la falta de comprensión de las reglas de nomenclatura y la dificultad para entender lo que representan las fórmulas y los nombres químicos (Garrido-Escudero, 2013). Esta dificultad de comprensión y el escaso entendimiento de la relación entre los compuestos y la vida cotidiana justifican el uso de la realidad aumentada, que ofrece una perspectiva distinta para el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica.

El aprendizaje de conceptos químicos basado en la realidad aumentada ha demostrado ser eficaz para el desarrollo de habilidades investigativas, ya que reduce intrínsecamente la carga cognitiva al ofrecer una alternativa para visualizar conceptos complejos y abstractos (Keller et al., 2021). Al incorporar una manera distinta de visualizar la nomenclatura inorgánica, el aprendizaje

de los estudiantes puede ser más significativo, lo que conlleva aplicar la nomenclatura más allá del mero nombramiento de compuestos y abordar de manera didáctica la resolución de problemas.

Bajo la reforma educativa de Belize 2022 - 2023, las propuestas curriculares apuntan a que los estudiantes no solo memoricen el material proporcionado, sino que utilicen dicho material en la resolución de problemas de una manera saludable y sostenible para así lograr el éxito académico (*The Belize National Curriculum Framework*, 2022). El uso de la realidad aumentada en la educación química, en particular en la nomenclatura inorgánica, representa una manera innovadora de abordar el aprendizaje y puede utilizarse para desarrollar la habilidad de resolución de problemas. Por ende, este estudio busca determinar cómo la realidad aumentada influye en el aprendizaje de la nomenclatura química inorgánica, con el fin de desarrollar la capacidad de resolución de problemas.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Desarrollar la habilidad de resolución de problemas en estudiantes de tercer año de secundaria en Benque Viejo del Carmen, Belize, mediante la realidad aumentada para el aprendizaje de la nomenclatura de la química inorgánica.

5.2. Objetivos específicos

5.2.1. Reconocer el nivel inicial de la habilidad de resolución de problemas que evidencian los estudiantes de tercer año en el contexto de la nomenclatura química inorgánica.

5.2.2. Construir una estrategia didáctica basada en el modelo 7E y mediada por la realidad aumentada para favorecer el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en el contexto de la nomenclatura química inorgánica.

5.2.3. Evaluar los cambios en la habilidad de resolución de problemas en el contexto de la nomenclatura química inorgánica en estudiantes de tercer año de secundaria de Benque Viejo del Carmen, Belize.

6. MARCO TEÓRICO

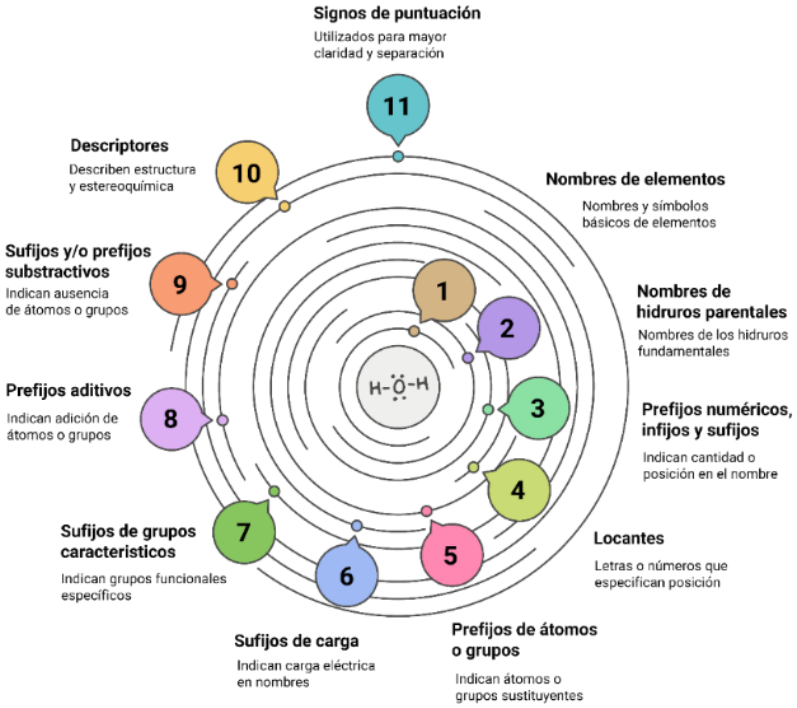
6.1. ¿Qué es la nomenclatura química inorgánica?

La nomenclatura química consiste en una serie de procedimientos sistemáticos que son utilizados para la construcción de nombres y fórmulas de sustancias químicas, lo cual es útil para proporcionar información sobre la composición y la estructura química (Leigh, 2011). La nomenclatura facilita la identificación y comunicación de información química sin ambigüedad (Connelly et al., 2005). Un resumen de los componentes básicos de la nomenclatura química se presenta en la Figura *1*.

Este sistema de nomenclatura química sigue el modelo desarrollado por Guyton de Morveau en 1782 (Connelly et al., 2005), que fue ampliado gracias a la colaboración de Lavoisier, Berthollet, de Fourcroy y Berzelius, y que se ha modificado en cuanto al planteamiento de distintas teorías y al cambio de enfoque para comunicar la composición y la estructura químicas. Entre los años 1892 y 1977 se realizaron varios congresos, reuniones y publicaciones en los que se plantearon un gran número de recomendaciones y modificaciones a los distintos sistemas de nomenclatura, hasta que en 1990 la IUPAC revisó todos los cambios propuestos, con el fin de generar un sistema universal con reglas que permitieran una comunicación fácil y útil al utilizar la nomenclatura química. Actualmente se utilizan tres sistemas de nomenclatura química inorgánica, entre los cuales la nomenclatura sistemática es la recomendada por la IUPAC. Los tres sistemas son:

- nomenclatura sistemática
- nomenclatura stock
- nomenclatura tradicional o clásica

Figura 1. *Componentes básicos de la nomenclatura química según la descripción de Leigh (2011). Fuente: Elaboración propia, diseñada en Adobe Illustrator (2025)*



6.2. Nomenclatura Sistemática

Esta nomenclatura aplicada a la química inorgánica incluye tres sistemas diferentes, uno de estos sistemas es el de composición (Cantillo Maldonado, 2016). La nomenclatura de composición tiene como objetivo proporcionar la composición iónica, molecular o atómica, relacionándola con la fórmula empírica o molecular, sin ofrecer información sobre la estructura química. El sistema se basa en el uso de prefijos multiplicativos que indican el número de átomos de cada elemento presente en el compuesto.

Tabla 1. *Prefijos multiplicativos simples. Fuente: Compilación propia (2025).*

Numero	Simple
1	mono
2	di

3	tri
4	tetra
5	penta
6	hexa
7	hepta
8	octa
9	nona
10	deca

- *Compuestos binarios* – estos compuestos consisten en dos elementos distintos; el nombramiento de estas especies sigue el convenio de prefijo simple multiplicador (Tabla 1), más el nombre del elemento electronegativo con la terminación (sufijo) "uro", seguido de un espacio y de la proposición "de", seguida del prefijo simple multiplicador correspondiente al elemento electropositivo y del nombre de dicho elemento. Cabe señalar que el prefijo "mono" se excluye, a menos que su ausencia pueda causar confusión.

prefijo simple multiplicador + ***nombre del elemento más electronegativo con sufijo "uro"*** + ***de*** + ***prefijo simple multiplicador*** + ***nombre del elemento menos electronegativo***

Ejemplo: SF_6 – hexafluoruro de azufre

Prefijo – hexa

Nombre de elemento más electronegativo – flúor

Sufijo – uro

Prefijo – mono (excluido)

Nombre de elemento menos electronegativo – calcio

En el caso de que el compuesto binario contenga oxígeno, el nombramiento de esta especie sigue el convenio de prefijo simple multiplicador (Tabla 1), más el nombre de oxígeno en función de "óxido" y la proposición "de", seguida del prefijo simple multiplicador correspondiente al elemento menos electronegativo, y del nombre de dicho elemento.

prefijo simple multiplicador + ***óxido*** + **de** + ***prefijo simple multiplicador*** + ***nombre del elemento menos electronegativo***

6.3. Nomenclatura Stock

Este sistema de nomenclatura de química inorgánica fue desarrollado por Werner y Alfred Stock y adoptado por la IUPAC en 1940. En este sistema de nomenclatura se considera el número de oxidación de los elementos que pueden presentar varios estados de oxidación. El sistema, como lo plantea Cantillo Maldonado (2016), sigue la regla del nombre del elemento más electronegativo con la terminación (sufijo) "uro", seguida de un espacio y de la proposición "de", seguida del nombre del elemento menos electronegativo y, entre paréntesis, el número de oxidación en números romanos.

nombre del elemento más electronegativo con sufijo "uro" + **de** + ***nombre del elemento menos electronegativo más número de oxidación en números romanos***

Ejemplo: $FeCl_2$ – cloruro de hierro (II)

Nombre de elemento más electronegativo – cloro

Sufijo - uro

Nombre de elemento menos electronegativo – hierro

Número de oxidación – (II)

En caso de que el compuesto binario contenga oxígeno, el nombramiento de esta especie sigue el convenio de nombre de oxígeno en función de "óxido" y la proposición "de" seguido por nombre del elemento menos electronegativo y entre paréntesis el número de oxidación en número romano.

óxido* + *de* + *nombre del elemento menos electronegativo más número de oxidación en números romanos

Ejemplo: Fe_2O_3 – óxido de hierro (III)

Nombre de elemento más electronegativo – óxido

Nombre de elemento menos electronegativo – hierro

Número de oxidación – (III)

En el caso de que, en el compuesto binario, el elemento menos electronegativo solo tenga un número de oxidación, el convenio seguido es nombrar al elemento más electronegativo con la terminación (sufijo) "uro", seguido de un espacio y de la proposición "de", que a su vez es seguida por el nombre del elemento menos electronegativo.

nombre del elemento más electronegativo con sufijo "uro" + de + nombre del elemento menos electronegativo

Ejemplo: $MgCl_2$ – cloruro de magnesio

Nombre de elemento más electronegativo – cloro

Sufijo - uro

Nombre de elemento menos electronegativo – magnesio

En el caso de que el compuesto incluya poliatómicos, el convenio a seguir es el nombre del anión poliatómico, seguido de un espacio, la proposición "de" y el nombre del elemento.

nombre de poliatómico* + *de* + *nombre del elemento menos electronegativo

Ejemplo: $Cu(OH)_2$ – hidróxido de cobre (II)

Nombre de poliatómico – hidróxido

Nombre de elemento menos electronegativo – cobre

Número de oxidación – (II)

6.4. Nomenclatura Tradicional

Este sistema de nomenclatura, como lo describe Cantillo Maldonado (2016), hace uso de los prefijos y sufijos, los cuales se le añaden a la raíz de los nombres de los elementos tomando en cuenta números de oxidación. Los prefijos utilizados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. *Lista de prefijos y sufijos utilizados en el sistema tradicional. Fuente: Compilación propia (2026).*

Prefijos	Sufijos
hipo -	-oso
per -	-ico

-ito

-ato

- *óxidos e hidruros y algunos poliatómicos (hidróxidos y oxiácidos)* – para estos compuestos, los sufijos "-oso" y "-ico" se utilizan para indicar números de oxidación menores y mayores, respectivamente.

grupos de función química* + *nombre del elemento menos electronegativo con prefijos y sufijos correspondientes al número de oxidación

Tabla 3. *Ejemplos de nomenclatura tradicional de óxidos, hidróxidos y oxiácidos. Fuente: Elaboración propia (2026)*

Tipo de compuesto	Formula	Estado de oxidación	Nombre tradicional
Óxido	FeO	+2	óxido ferroso
	Fe_2O_3	+3	óxido férrico
Hidróxido	$Fe(OH)_2$	+2	hidróxido ferroso
	$Fe(OH)_3$	+3	hidróxido férrico
Oxiácido	H_2SO_3	+4	ácido sulfuroso
	H_2SO_4	+6	ácido sulfúrico
	$HClO$	+1	ácido hipocloroso
	$HClO_3$	+5	ácido clórico

- *sales binarias*

nombre del elemento más electronegativo + ***"uro"*** + ***de*** + ***nombre del elemento menos electronegativo***

Ejemplo: Al_2S_3 – sulfuro de aluminio

Nombre de elemento más electronegativo – azufre

Sufijo - uro

Nombre de elemento menos electronegativo – aluminio

- *oxisales* – el nombramiento de estas especies sigue el convenio de prefijos y sufijos, cuyo uso depende del número de oxidación del elemento no metálico, seguido del nombre del elemento menos electronegativo, junto con los prefijos y sufijos de la Tabla 2. Para estos compuestos se utilizan los sufijos "-ato" y "-ito" para indicar el número menor y mayor de oxidación respectivamente. En casos donde el elemento no metálico presenta más de dos estados de oxidación, se utilizan los prefijos de la Tabla 2 de la siguiente manera:
    - *"hip-"* y "*-ito*" – para menor estado de oxidación
    - *"-ito"* – para un estado de oxidación bajo
    - *"-ato"* – para un estado de oxidación alto
    - *"per-"* y "*-ato*" – para mayor estado de oxidación

Tabla 4. *Ejemplos de nomenclatura tradicional de oxisales. Fuente: elaboración propia (2026).*

Formula	Número de oxidación	Nombre tradicional
$NaClO$	+1	hipoclorito de sodio
$NaClO_2$	+3	clorito de sodio
$NaClO_3$	+5	clorato de sodio
$NaClO_4$	+7	perclorato de sodio
Na_2SO_3	+4	sulfito de sodio
Na_2SO_4	+6	sulfato de sodio
$Ca(NO_2)_2$	+3	nitrito de calcio
$Ca(NO_3)_2$	+5	nitrato de calcio

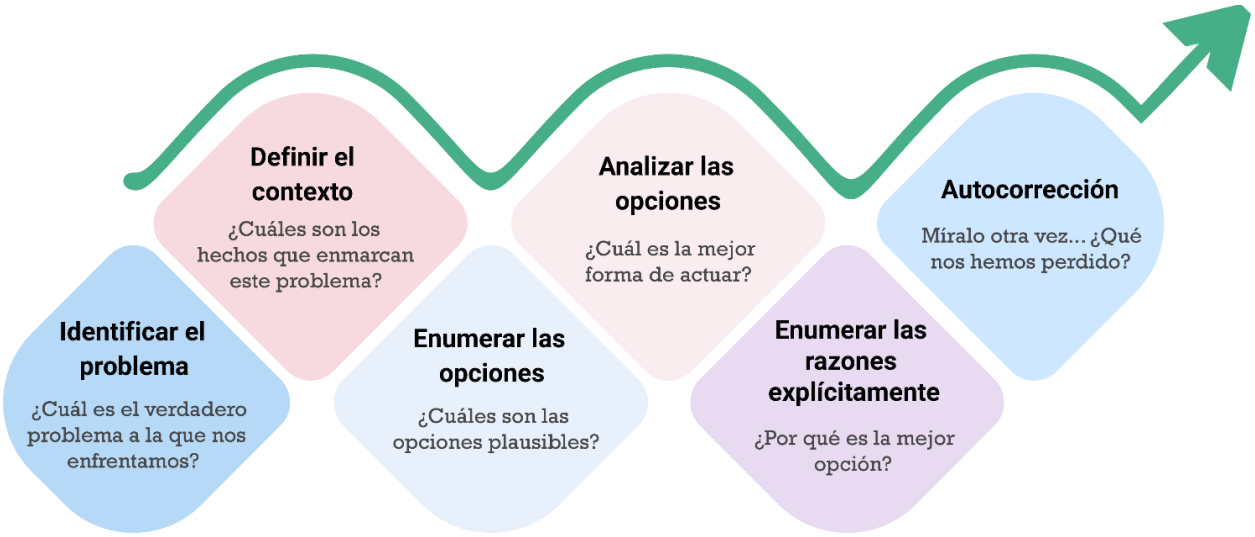
6.5. ¿Qué es la resolución de problemas?

La resolución de problemas implica, primero, entender qué significa un problema. Jonassen (2000) indica que un problema consiste en una cuestión caracterizada por dos partes: la primera es la entidad desconocida que existe en alguna situación y la segunda es el querer encontrar o resolver lo desconocido, ya que este tiene un valor social, cultural o intelectual. La resolución de problemas es el proceso de encontrar o dar resolución a lo que se desconoce, esto involucra una secuencia de operaciones cognitivas las cuales tienen los siguientes atributos; (1) una representación de la situación en el mundo sea interna o externa con características metales o físicas y (2) una manipulación del espacio del problema basado en la actividad.

La resolución de problemas con base en el pensamiento crítico es abordada por algunos autores desde el modelo IDEALS (Jonassen, 2000; Snyder y Snyder, 2008), el cual consiste en seis etapas (Figura *2*) y cuyo objetivo es guiar a los estudiantes de forma colaborativa,

constructiva y evaluativa para que comprendan la entidad desconocida (el problema) y, de esta forma, planteen soluciones. Por otra parte, el modelo IDEALS considera que el estudiante debe participar activamente en el proceso de aprendizaje y, de esta forma, desarrollar el pensamiento crítico que le permita resolver problemas.

Figura 2. *Pasos del modelo IDEALS. Elaborado a partir de Snyder y Snyder (2008).*



6.6. ¿Qué son los dilemas?

Para entender qué son los dilemas, primero se debe comprender que existen distintos tipos de problemas, entre ellos los dilemas. Los dilemas son situaciones sociales complejas, las cuales son influenciadas por múltiples perspectivas —como la sociedad, la economía, la política, la religión—, las cuales presentan múltiples soluciones aceptadas por todas las partes involucradas (Jonassen, 2010). La solución a un dilema puede presentar rasgos de las distintas propuestas y, por ende, rendir distintos grados de éxito, pero debe entenderse que cualquier solución a un dilema tiende a favorecer solo a algunas de las partes interesadas en su resolución, dada la complejidad del problema (Jonassen, 2000; Jonassen, 2010).

6.7. Rol del docente en la resolución de problemas

El rol del docente en la resolución de problemas se asume como un guía que dinamiza el trabajo y motiva un ambiente participativo en los estudiantes, los cuales pueden aplicar el conocimiento para promover el pensamiento crítico y, por ende, llegar a la resolución de problemas (Snyder y Snyder, 2008). Adicionalmente, el rol del docente incluye utilizar los modelos didácticos junto con los diferentes tipos de problemas —como los dilemas— y evaluar dichos modelos en términos de su efectividad para impulsar el pensamiento crítico y, por ende, la resolución de problemas (Jonassen, 2000).

Es bajo esta premisa que Gagné (1980, citado en Yapılandırılmış y Çözüyor, 2005) indica que la idea central de la educación es enseñar a las personas a pensar y utilizar sus capacidades de razonamiento para que, de esta manera, puedan mejorar sus habilidades para resolver problemas. Jonassen (2000) añade que la resolución de problemas no es una actividad uniforme y, por lo tanto, requiere la formación de esquemas[2], los cuales pueden utilizarse en la deconstrucción e identificación de las distintas características del problema y, de esta manera, promover su resolución. En la formación de los esquemas, el docente participa como guía y proporciona los recursos necesarios para avanzar en el proceso de resolución.

6.8. Rol del estudiante en la resolución de problemas

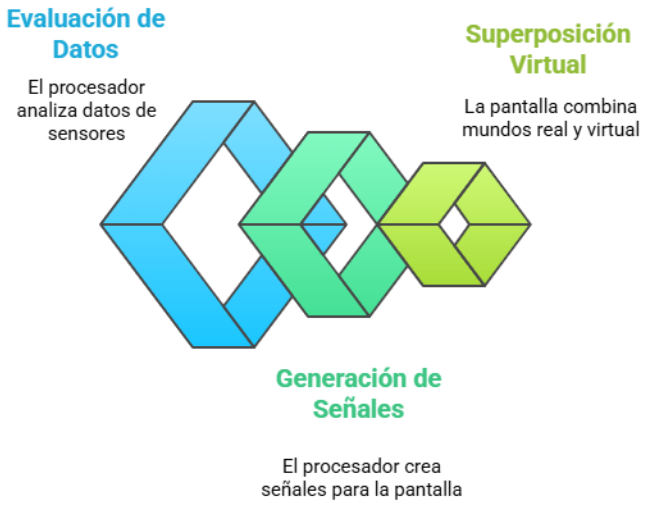
El rol del estudiante en la resolución de problemas implica la participación reflexiva en las distintas etapas del desarrollo del pensamiento crítico (Snyder y Snyder, 2008), mediante la aplicación de los distintos estándares intelectuales del pensamiento crítico (Bassham et al.,

[2] Un esquema es una unidad organizada de conocimientos sobre un tema, esta unidad es desarrollada a base de experiencias pasadas y sirve como guía para la compresión, toma de decisiones o acciones hacia un tema o situación (Pankin, 2013).

2023), lo que permite una participación activa en el proceso de aprendizaje y en la resolución de problemas de manera constructiva y reflexiva (Jonassen, 2000).

6.9. ¿Qué es la realidad aumentada?

Figura 3. *Componentes principales de la realidad aumentada propuestos por Azuma (1997) y Craig (2013). Fuente: elaboración propia, diseñada con Napkin IA (2025).*



La realidad aumentada (RA) es una tecnología que mejora la percepción e interacción de las personas con el mundo real (Carmigniani et al., 2010), mediante la visualización de elementos que surgen de la superposición de capas digitales sobre el mundo real, en tiempo real (Nielsen et al., 2016; Steele et al., 2012). En la superposición de capas que esta tecnología brinda al usuario, se le proporciona información que no puede ser observada con los sentidos, esta información puede ser utilizada en la toma de decisiones o simplemente convertirse en una forma de entretenimiento (Carmigniani et al., 2010).

La realidad aumentada está constituida por tres componentes principales: el generador de escena (el procesador), el dispositivo de visualización (la pantalla) y, por último, el sistema de

rastreo y detección (los sensores) (Azuma, 1997; Craig, 2013). La función de estos componentes es:

- El procesador: evalúa la información de los sensores, aplica las "leyes de la naturaleza" y otras reglas del mundo virtual, para generar las señales necesarias para controlar la pantalla.
- La pantalla: crea la impresión de que el mundo virtual y el mundo real coexisten, realzando el papel de los sentidos, de modo que se perciba la combinación entre el mundo físico y el virtual.
- Los sensores determinan el estado del mundo físico en el que se desplegará o se superpondrá el mundo virtual.

La realidad aumentada, como alternativa tecnológica, presenta un alto potencial de aplicación en el ámbito educativo, ya que promueve la motivación y brinda un soporte que va más allá de los materiales habituales y, de esta manera, enriquece el aprendizaje mediante la retención de conceptos (Cabero-Almenara et al., 2019). Además de promover la motivación y facilitar el aprendizaje (Cabero-Almenara et al., 2019), la realidad aumentada permite mejorar la capacidad de visualizar espacios y alcanzar un mejor desempeño, mediante la colaboración y la participación (Sirakaya y Alsancak Sirakaya, 2022).

6.10. El modelo de las 7E

Uno de los enfoques de indagación basado en la teoría constructivista, es el modelo 7E desarrollado por el profesor Arthur Eisenkraft en el 2003, el cual consiste en siete etapas (Tabla 5), que son utilizadas para promover el pensamiento crítico en los estudiantes y su participación en el proceso de aprendizaje (Rahman y Chavhan, 2022).

Hussain et al. (2018) describen el rol del docente en este modelo como un facilitador o guía, quien motiva a los estudiantes, teniendo en cuenta su rol protagónico, ya que estos tienen nociones preexistentes que deben considerarse para construir sobre ellas una forma concreta de lograr el aprendizaje. De igual manera, el docente desarrolla la capacidad de modificar o reestructurar el proceso de enseñanza para garantizar los aprendizajes. Por otra parte, el rol activo del estudiante es explícito cuando indaga, colabora y coopera, de tal forma que sus diferentes perspectivas se hacen conocer y pueden incorporarse al proceso de aprendizaje.

Tabla 5. *Fases del modelo 7E. Adaptado de Rahman y Chavhan (2022).*

Fase	**Características**
Enganchar (Engage)	El objetivo de esta fase es centrar a los estudiantes en el tema o concepto que aprenderán y, de este modo, estimular su interés y curiosidad.
Elicitar (Elicit)	El objetivo de esta fase es evaluar a los estudiantes para determinar qué conocimientos ya poseen sobre el tema. De igual manera, se consideran las ideas y los conocimientos erróneos que los estudiantes puedan tener sobre el tema.
Explorar (Explore)	El objetivo de esta fase es proveer a los estudiantes una experiencia común, en la cual ellos se involucran directamente con el tema, y de esta manera desarrollan sus conocimientos y reconocen que sus explicaciones sobre el tema no son suficientes.
Explicar (Explain)	El objetivo de esta fase es que los estudiantes discutan y expresen su comprensión del tema con sus compañeros y con el docente. Tanto el docente como los estudiantes participan activamente en la discusión, indagando sobre la información presentada con base en el tema, lo que permite una examinación

	más profunda del mismo, mientras se estimula el pensamiento y se asegura un entendimiento adecuado.
Elaborar (Elaborate)	El objetivo de esta fase es que los estudiantes tengan la oportunidad de aplicar sus conocimientos sobre el tema, lo cual es beneficioso, ya que les permite ampliar su comprensión y, de esta manera, alcanzar una comprensión más profunda.
Evaluar (Evaluate)	En esta fase, el proceso de aprendizaje, junto con el producto del aprendizaje de los estudiantes, se evalúa mediante rúbricas, listas de cotejo, hojas de observación, autoevaluaciones, evaluación entre pares, tareas escritas y otras formas de evaluación, tanto formativas como sumativas, con la finalidad de guiar el aprendizaje de los estudiantes.
Extender (Extend)	En esta fase, los estudiantes aplican su comprensión del tema a situaciones reales, lo que permite la contextualización y la transferencia a nuevas situaciones.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. Diseño de estudio

El paradigma metodológico que orienta la presente investigación es mixto, con un diseño holístico y un enfoque descriptivo. Una investigación mixta, como la describen Privitera y Ahlgrim-Delzell (2018) incorpora un diseño tanto cuantitativo como cualitativo para responder una pregunta de investigación. En este caso se utilizará una metodología mixta con un diseño de exploración secuencial (CUALI-cuanti), que recolecta datos cualitativos seguidos de los cuantitativos, de tal manera que los datos cualitativos guían el enfoque cuantitativo (Privitera y Ahlgrim-Delzell, 2018). En este caso, la investigación será de tipo holístico-descriptivo, ya que se espera reconocer, a partir de ella, las habilidades de resolución de problemas que los estudiantes manifiestan al interactuar con la realidad aumentada en el contexto de la nomenclatura inorgánica.

Desde una perspectiva educativa, una investigación mixta es una buena manera de comprender cómo los distintos modelos didácticos pueden favorecer habilidades específicas en los estudiantes. Por otra parte, este enfoque permite evaluar tanto la participación como el rendimiento de los estudiantes con base en el modelo didáctico empleado (Privitera y Ahlgrim-Delzell, 2018). Por otra parte, el enfoque descriptivo de esta investigación permite explorar el porqué de las acciones en conjunto (Rodríguez, 2023), señalando la adaptación y la asimilación de la información que ocurren durante el proceso de aprendizaje.

7.2. Población de estudio

En esta investigación participaron 33 estudiantes de tercer año de Mount Carmel High School, con edades entre 14 y 19 años. Mount Carmel High School es uno de los colegios

ubicados en el poblado fronterizo de Benque Viejo del Carmen, Belize, situado a escasos kilómetros de la frontera con Guatemala, por lo cual una parte de los participantes es de nacionalidad guatemalteca y la otra, de nacionalidad beliceña. En términos de habla, la mayoría de los estudiantes son bilingües, ya que suelen hablar inglés en las distintas sesiones de clase y también español dentro y fuera del aula.

7.3. Recolección de datos

Esta investigación empleó métodos de recolección de datos mediante hojas de trabajo y de reflexión, así como la aplicación de un pretest y un postest (Anexo A). El desarrollo de la prueba de pretest y postest utilizada en esta investigación constaba de ocho preguntas diseñadas para medir la habilidad de resolución de problemas mediante una cuestión sociocientífica con un problema de diagnóstico-solución, la cual busca elegir y evaluar las opciones de tratamiento propuestas para una problemática central, como se describe en Jonassen (2000). Ese instrumento fue validado por un profesional con formación avanzada en química y educación y con experiencia en el diseño y la evaluación de instrumentos académicos, vinculado a instituciones educativas y de educación superior.

7.3.1. Diseño y estructura de los instrumentos

Los instrumentos de recolección de información fueron diseñados en línea con los indicadores de resolución de problemas adaptados de Nugroho y Masykuri (2025). El pretest y el postest estuvieron compuestos por ocho ítems, cada uno vinculado a un indicador de habilidades para resolver problemas: identificación, planificación, implementación, predicción de consecuencias y reflexión sobre ventajas y desventajas. Cada ítem fue evaluado mediante una

rúbrica analítica presentada en el Anexo B, con una escala de cuatro niveles que permitió asignar una puntuación individual y calcular un puntaje total por estudiante. El proceso para convertir el puntaje total en una clasificación porcentual se detalla en el apartado 7.4. Además de la puntuación cuantitativa, las respuestas escritas de los estudiantes aportaron información cualitativa sobre el tipo de lenguaje utilizado, la coherencia de las explicaciones, el uso de conceptos químicos, las relaciones entre la fórmula y el nombre y la profundidad del razonamiento al resolver la situación-problema. El instrumento de evaluación se encuentra en el Anexo A, la rúbrica en el Anexo B y la validación del instrumento en el Anexo J.

7.4. Análisis de Datos

Los datos recolectados de las pruebas de pretest y postest fueron analizados cualitativamente en términos de validez y efectividad en el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas mediante la realidad aumentada y en el aprendizaje de la nomenclatura química inorgánica. Los aspectos e indicadores evaluados fueron tomados de la OCDE (2013, como se citó en Nugroho y Masykuri, 2025) y adaptados a la nomenclatura inorgánica (véase la Tabla 6).

Tabla 6. *Aspectos e indicadores de la habilidad de resolución de problemas. Adaptado de Nugroho y Masykuri (2025).*

Aspecto	Descripción	Indicador	Ítem
Define el problema	Establece vínculos entre los distintos problemas (conexiones) identificados en la	Los estudiantes son capaces de identificar los problemas en la presentación del discurso CSS sobre la crisis del New River y en el uso de nombres químicos inorgánicos poco	1

	cuestión sociocientífica (CSS).	claros, con base en perspectivas científicas y no científicas (por ejemplo, económicas, éticas o sociales).	
	Determina el tema o problema principal de la cuestión sociocientífica que debe resolverse.	Los estudiantes son capaces de determinar el problema principal en la presentación del discurso CSS sobre la crisis del New River y la nomenclatura inorgánica, con base en perspectivas científicas y no científicas (por ejemplo, económicas, éticas o sociales).	2
Explora el problema	Formula los problemas basándote en las principales cuestiones identificadas.	Los estudiantes son capaces de formular problemas a partir del problema principal identificado en la presentación del discurso CSS sobre la crisis del New River y la nomenclatura inorgánica.	3
	Determina soluciones alternativas que puedan utilizarse para resolver el problema principal.	Los estudiantes son capaces de determinar soluciones alternativas utilizando enfoques de química y de educación (como sistemas claros de nomenclatura, modelos 3D o tecnología inmersiva) que pueden emplearse para resolver problemas en la presentación del discurso CSS sobre la crisis del New River.	4

Planificación e implementación de la solución	Crea un diseño funcional a partir de las soluciones alternativas elegidas para resolver el problema.	Los estudiantes son capaces de determinar las herramientas y estrategias para implementar soluciones (por ejemplo, normas de nomenclatura, recursos educativos y tecnología) que aborden el problema del New River y de la nomenclatura.	5
	Implementar la solución según el plan desarrollado.	Los estudiantes son capaces de crear un esquema o un gráfico para implementar soluciones, utilizando enfoques químicos o educativos, con el fin de resolver problemas en la presentación del discurso CSS sobre la crisis del New River.	6
Revisión y reflexión	Predecir eventos que puedan ocurrir más allá del resultado primario como consecuencia de la aplicación de la solución.	Los estudiantes son capaces de describir otros impactos que surgen al implementar soluciones con enfoques químicos y educativos para resolver problemas en la presentación del discurso CSS sobre la crisis del New River.	7
	Reflexionar sobre los puntos fuertes y débiles del proceso de resolución de problemas.	Los estudiantes son capaces de describir las ventajas y desventajas de las soluciones, utilizando un enfoque químico/educativo, que se ha determinado para resolver	8

	problemas en la presentación del discurso CSS sobre la crisis del New River.

La Tabla 6. Aspectos e indicadores de la habilidad de resolución de problemas. Adaptado de Nugroho y Masykuri (2025). establece los aspectos e indicadores utilizados para evaluar la habilidad de resolver problemas, adaptándolos de Nugroho y Masykuri (2025). Estos indicadores se relacionaron con el modelo 7E, ya que cada fase de la estrategia didáctica permitió obtener evidencias específicas del proceso de resolución: las fases de Enganchar y Elicitar ayudaron a identificar el problema y a reconocer ideas previas, mientras que Explorar y Explicar favorecieron la formulación del problema, el uso de modelos y la explicación en lenguaje químico. La fase de Elaborar permitió planificar soluciones y aplicarlas en situaciones-problema, y las fases de Evaluar y Extender ayudaron a revisar las consecuencias, valorar las fortalezas y debilidades, y transferir el aprendizaje a contextos reales. Esta vinculación aseguró que los indicadores no se evaluaran de forma aislada, sino como parte de un proceso de aprendizaje basado en la indagación, en coherencia con el modelo 7E y con la resolución de problemas como proceso de identificación, representación, análisis y evaluación de soluciones (Jonassen, 2000; Rahman y Chavhan, 2022; Snyder y Snyder, 2008).

Con el fin de hacer explícita la coherencia entre el diseño didáctico, los indicadores de resolución de problemas y las fuentes de información recolectadas, la Tabla 7. Relación entre las fases del modelo 7E, los indicadores y las evidencias de resolución de problemas. presenta la relación entre cada fase del modelo 7E, el propósito que cumplió en la estrategia, los indicadores de resolución de problemas asociados, los ítems del instrumento que permitieron valorar dichos indicadores y las evidencias cualitativas obtenidas durante la intervención. Esta organización

permite comprender cómo el proceso de evaluación no se limitó al pretest y al post-test, sino que también incorporó evidencias producidas por los estudiantes durante las distintas fases de la estrategia didáctica, en coherencia con los indicadores adaptados de Nugroho y Masykuri (2025), el aprendizaje basado en indagación del modelo 7E Rahman y Chavhan (2022) y la resolución de problemas como proceso de identificación, representación, análisis y evaluación de soluciones (Jonassen, 2000; Jonassen, 2010; Snyder y Snyder, 2008).

Tabla 7. *Relación entre las fases del modelo 7E, los indicadores y las evidencias de resolución de problemas.*

Fase del modelo 7E	**Propósito dentro de la estrategia**	**Indicadores relacionados**	**ítems**	**Evidencia analizada**
Enganchar	Contextualizar la situación-problema y activa el interés de los estudiantes	Identificar el problema y determinar el problema principal.	1 y 2	Pregunta-problema y respuestas iniciales.
Elicitar	Identifica los conocimientos previos y las concepciones alternativas.	Definir y explorar el problema.	1, 2 y 3	Rutina +1 y discusión inicial.
Explorar	Permite manipular ejemplos, modelos y recursos de realidad aumentada.	Formular problemas y proponer soluciones alternativas.	3 y 4	Hojas de observación, formación de compuestos y registros de modelos.
Explicar	Organiza la comprensión conceptual y el uso del lenguaje químico	Justificar fórmulas, nombres y reglas de nomenclatura.	3, 4 y 5	Explicaciones grupales y respuestas escritas.

Elaborar	Permite aplicar el conocimiento a nuevas situaciones.	Planificar e implementar soluciones.	5 y 6	Fichas de situaciones-problema e informes.
Evaluar	Valorar el proceso y el producto de aprendizaje	Revisar consecuencias, fortalezas y debilidades.	7 y 8	Rúbrica, postest y reflexiones.
Extender	Transferencia del aprendizaje a contextos reales.	Aplicar soluciones en situaciones contextualizadas.	6, 7 y 8	Propuesta final, reflexión y aplicación contextual.

El análisis cualitativo fue realizado mediante una codificación deductiva basada en los cuatro aspectos de la resolución de problemas presentados en la Tabla *7.* Relación entre las fases del modelo 7E, los indicadores y las evidencias de resolución de problemas.. La unidad de análisis consistió en la respuesta escrita de cada estudiante a cada ítem del pretest y del postest, así como en las evidencias producidas durante la estrategia didáctica. Las respuestas se clasificaron según la rúbrica del Anexo B y se interpretaron en función de la claridad conceptual, el uso del lenguaje químico, la relación entre la fórmula y el nombre, la pertinencia de las soluciones propuestas y la profundidad de la reflexión. Después, se contrastaron las respuestas del pretest y del postest con las evidencias obtenidas en las hojas de trabajo, las fichas de situaciones-problema y las reflexiones de los estudiantes, con el fin de identificar patrones de avance, dificultades persistentes y relaciones entre la información cualitativa y los resultados estadísticos.

Los datos obtenidos de las pruebas aplicadas fueron organizados y analizados con la ayuda del software SPSS 26. Previo al análisis estadístico descriptivo, la calificación de los estudiantes se determinó mediante la rúbrica del Anexo B y la siguiente ecuación, con un puntaje total de 32 puntos.

$$calificación = \frac{puntaje\ total}{32} \times 100\%$$

El análisis de los resultados de la prueba de pretest y postest se realizó mediante la prueba N-gain y la paired-sample t-test. En la cual se utilizó la prueba N-gain para evaluar la magnitud del efecto del tratamiento (Nadila y Dwiningsih, 2026) y el paired-sample t-test para evaluar las diferencias entre los resultados del pretest y el postest (Rizqullah y Lutfi, 2021). Los valores de N-gain se determinaron con base en la siguiente ecuación de Hakea (1998) y en el promedio de los valores interpretados según la Tabla 8.

$$N - gain = \frac{post - test - pretest}{100 - pretest}$$

Tabla 8. *Interpretación de N-gain (Hakea, 1998).*

Valor	Criterio
$g \geq 0{,}7$	Alto
$0{,}3 \leq g < 0{,}7$	Medio
$g < 0{,}3$	Bajo

Se realizó una prueba de hipótesis basada en los criterios del análisis t de muestras emparejadas, según la cual, si el valor de significancia es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula (H0), que afirma que el uso de la realidad aumentada en el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica no favorece el desarrollo de la habilidad de resolver problemas en estudiantes de tercer año de secundaria en Mount Carmel High School, Benque Viejo del Carmen, Belice; y hay evidencia estadística que respalda la hipótesis alternativa (Ha), que plantea que el uso de la

realidad aumentada en el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica sí favorece esa habilidad. La fiabilidad del instrumento fue evaluada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, según el criterio establecido en la Tabla 9. Valores del coeficiente alfa de Cronbach según Streiner (2003, como se citó en Jugessur, 2022). a partir de las respuestas de los estudiantes en las pruebas de pretest y postest.

Tabla 9. *Valores del coeficiente alfa de Cronbach según Streiner (2003, como se citó en Jugessur, 2022).*

Alfa de Cronbach	Consistencia Interna/ Test de fiabilidad
$\alpha \geq 0{,}90$	Excelente
$0{,}70 \leq \alpha < 0{,}90$	Bueno
$0{,}60 \leq \alpha < 0{,}70$	Aceptable
$0{,}50 \leq \alpha < 0{,}60$	Pobre
$\alpha < 0{,}50$	Inaceptable

El tamaño del efecto de la estrategia didáctica se determinó mediante el coeficiente de Cohen d para muestras relacionadas, lo que permitió cuantificar la magnitud práctica de la diferencia entre los resultados del pretest y del postest en términos de desviaciones estándar. Este coeficiente no sustituye la prueba de significancia estadística, sino que complementa su interpretación al indicar la relevancia educativa del cambio observado tras la intervención (Goulet-Pelletier y Cousineau, 2018). Por otra parte, el valor de Cohen's U_3 permitió interpretar el efecto como un porcentaje de calificaciones del postest que superan la media del pretest, ofreciendo una interpretación adicional de la magnitud del cambio en términos de porcentajes (Cook et al., 2018). Los valores de Cohen's d se determinaron con base en la siguiente ecuación (Goulet-Pelletier y Cousineau, 2018) y el valor obtenido se interpretó según la Tabla 10, junto con el valor de Cohen's U_3.

$$d = \frac{\overline{X_{post}} - \overline{X_{pre}}}{SD_{difference}}$$

$\overline{X_{post}} - \overline{X_{pre}}$ = diferencia de las medias

$SD_{difference}$ = desviación estándar de las diferencias

Tabla 10. *Valores de Cohen's d (Cook et al., 2018; Goulet-Pelletier y Cousineau, 2018)*

Coeficiente de Cohen's d	Valor de Cohen's U_3	Efecto
0	50,00	
0,1	53,98	
0,2	57,93	Pequeño
0,3	61,79	
0,4	65,54	
0,5	69,15	Moderado
0,6	72,57	
0,7	75,80	
0,8	78,81	Grande
0,9	81,59	
1,00	84,13	
1,30	90,32	Muy grande
2,00	97,72	

7.5.Fases de la Investigación

Esta investigación se desarrolló en tres fases, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 11. *Fases del desarrollo de la investigación.*

Fases	Objetivo	Actividades
1	Reconocer el nivel inicial de la habilidad de resolución de problemas de los estudiantes de tercer año de secundaria de	Diseño y aplicación de una prueba estructurada (pretest) para evaluar las

	Mount Carmel High School, en Benque Viejo del Carmen, Belize, en el contexto de la química inorgánica.	habilidades de resolución de problemas de los estudiantes en su nivel inicial.
2	Diseñar e implementar una unidad didáctica para promover el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas. Monitorear el proceso de aplicación mediante hojas de trabajo y reflexiones, como evidencias que permitan evaluar el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas.	Diseño de una estrategia didáctica basada en el modelo 7E para promover la habilidad de resolución de problemas mediante la realidad aumentada en el contexto de cuestiones sociocientíficas y de la nomenclatura química inorgánica. Mediante la implementación de la estrategia, se recopilarán diversas evidencias que demuestren el trabajo realizado. Aplicación de un postest para evaluar el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en los estudiantes.
3	Análisis de los resultados y elaboración del informe final de la investigación, con base en los resultados del pretest-postest y en las evidencias recolectadas durante la ejecución de la unidad didáctica.	Enumerar los resultados de las pruebas de pretest y postest para ejecutar el análisis estadístico y darles significado, en conjunto con el análisis de las pruebas recolectadas, para colaborar con las

	pruebas estadísticas y explicar el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas mediante la realidad aumentada en el contexto de cuestiones sociocientíficas y de la nomenclatura de la química inorgánica.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el análisis de resultados, es importante mencionar que Mount Carmel High School, al igual que la mayoría de las instituciones de educación secundaria en Belize, está regida por las mallas curriculares y los estándares nacionales y del Caribe. Ya que al final de los cuatro años los estudiantes tienen la opción de presentar exámenes regionales, como los de CSEC, resulta importante que cuenten con la posibilidad de cursar clases y cursos electivos, entre ellos el de química, ofrecidos en los años tercero y cuarto, con una intensidad de 5 horas semanales por cada electiva. Uno de los temas cubiertos en el tercer año de formación secundaria —el primer año de química— es la nomenclatura inorgánica.

El análisis de los resultados combina datos cuantitativos y cualitativos. Primero, se presentan los resultados del pretest, incluyendo el rendimiento general de los estudiantes y los detalles por ítem. Luego, se examinan las evidencias cualitativas obtenidas durante la implementación de la estrategia didáctica, como las hojas de trabajo, las reflexiones y las producciones de los alumnos en las actividades del modelo 7E. Finalmente, se analizan y discuten los resultados del postest en comparación con el pretest para evaluar los cambios en la habilidad para resolver problemas de nomenclatura química inorgánica.

8.1. Resultado de prueba diagnóstica de pretest

Antes de presentar el análisis detallado de los resultados, es importante indicar que la prueba diagnóstica del pretest se aplicó con el propósito de identificar el nivel inicial de los estudiantes en relación con el nivel de desarrollo de la habilidad de resolución de problemas evidenciado por los estudiantes de tercer año en el contexto de la nomenclatura química inorgánica. Los resultados de la prueba permitieron establecer una base inicial de la habilidad de

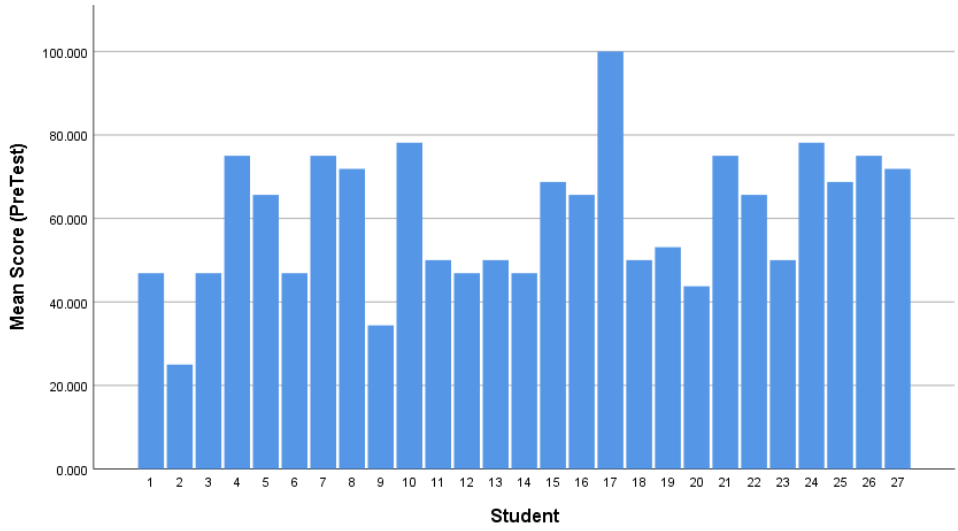
resolución de problemas antes de implementar la secuencia didáctica basada en la realidad aumentada. En la prueba diagnóstica de pretest participaron 33 estudiantes de tercer año de secundaria de Mount Carmel High School.

Los resultados del pretest evidencian que los estudiantes presentan un desempeño moderado en la resolución de problemas y en la nomenclatura inorgánica. El puntaje promedio de 61,55 corresponde a la media aritmética de los puntajes totales de los 33 estudiantes en la prueba diagnóstica del pretest. Este valor se obtuvo mediante un análisis estadístico descriptivo en SPSS, utilizando la variable de calificación del pretest. El promedio obtenido indica que los estudiantes poseen conocimientos básicos, insuficientes para demostrar dominio en la resolución de problemas. Por otra parte, las medidas de dispersión permiten comprender la distribución de los puntos obtenidos por los estudiantes en el pretest. La desviación estándar de 15,56 indica que las calificaciones de los estudiantes en el pretest no se concentraron de manera uniforme alrededor del promedio de 61,55, lo que evidencia una variabilidad moderada en el desempeño inicial. De igual manera, la varianza de 241,995 respalda esta interpretación, al confirmar la dispersión de las calificaciones en torno a la media. No obstante, con mayor claridad, la desviación estándar permite comunicar esta dispersión, ya que se expresa en la misma escala que las calificaciones de los estudiantes.

De lo anterior, se puede inferir que la dispersión sugiere que, aunque existen estudiantes con desempeños cercanos al promedio, también se identifican estudiantes con resultados por debajo de la media y otros con desempeños muy altos, lo que evidencia la diversidad de niveles de conocimiento en el grupo. En la Gráfica 1 se observa un rango intermedio de calificaciones en la mayoría de los estudiantes, entre 45 y 80 puntos, con casos aislados en los extremos inferior y superior, lo que confirma la ausencia de un dominio generalizado en la resolución de problemas.

Dado que los estudiantes no demostraron de manera consistente la capacidad para analizar las situaciones planteadas, identificar información relevante y, por ende, aplicar las reglas de nomenclatura inorgánica y justificar sus respuestas de forma razonada.

Gráfica 1. *Notas obtenidas en la prueba diagnóstica de pretest*



Con el objetivo de ofrecer un análisis más detallado del desempeño inicial de los estudiantes, se presenta en el Anexo C**.** Matriz de puntuación del pretest por estudiante e ítem. la matriz completa de resultados del pretest por estudiante e ítem. En esta matriz se muestran los ocho ítems evaluados, el puntaje total obtenido por cada alumno y la calificación correspondiente. Esta estructura facilita identificar no solo el desempeño del grupo, sino también las dificultades específicas asociadas a cada indicador de la habilidad de resolución de problemas, lo cual sirve de base para la interpretación cualitativa de las respuestas iniciales de los estudiantes.

Desde la perspectiva cualitativa, estos resultados se complementan con la naturaleza de las respuestas de los estudiantes en el pretest. Por lo tanto, una concentración de puntajes alrededor de la media, junto con una dispersión moderada, refleja un grupo que muestra una

comprensión fragmentada y desigual, sin evidenciar un dominio conceptual consolidado. Lo que se demuestra es que, en términos de resolución de problemas y nomenclatura inorgánica, los estudiantes poseen algunos conocimientos básicos, pero tienen dificultad para aplicarlos de manera integrada al analizar una situación-problema y al proponer respuestas justificadas con un lenguaje científico. En general, el grupo evidencia un conocimiento básico y superficial y recurre al lenguaje cotidiano, como “dirty water” y “waste”, en lugar de a la terminología científica. Por lo tanto, estos resultados se corresponden con la baja presencia de puntajes en el rango alto, lo que indica un uso limitado de la nomenclatura inorgánica y de las representaciones formales de la química.

Por otra parte, el análisis cualitativo indica que la variabilidad reflejada en la desviación estándar y el rango se debe a inconsistencias conceptuales y a concepciones alternativas de los estudiantes, especialmente en cómo se relacionan las fórmulas químicas con sus nombres, en la identificación de los iones presentes, en el reconocimiento de los números de oxidación y en la selección de las reglas de nomenclatura. Cabe señalar que algunas respuestas de los estudiantes evidencian un intento de aplicar conocimientos previos; sin embargo, estos intentos suelen ser inadecuados, ya que algunos estudiantes transfieren conceptos de otras áreas, como procesos biológicos (por ejemplo, la ósmosis), para explicar fenómenos químicos que requieren una interpretación desde la nomenclatura inorgánica y la química de iones. Bajo esta premisa, se presentan inconsistencias en el razonamiento que contribuyen a la dispersión de los resultados, evidenciándose estudiantes con altos niveles de comprensión, capaces de relacionar la información del problema con la fórmula y el nombre utilizados, así como con las reglas de nomenclatura correspondientes, mientras que otros permanecen en niveles básicos o emergentes, ofreciendo respuestas o descripciones sin justificación química.

Asimismo, la prevalencia en el rango medio (45–80) corresponde a una tendencia de los estudiantes a proponer soluciones simples y no sistemáticas, como la limpieza general y la eliminación de desechos, que no incluyen procesos químicos ni enfoques estructurados que evidencien la resolución del problema. Pero cabe notar que la limitada presencia de puntajes bajos sugiere que los estudiantes poseen algún nivel de conocimiento previo; asimismo, la falta de concentración de puntajes en los niveles altos indica que no hay un desarrollo suficiente de una competencia analítica aplicada que evidencie una resolución de problemas significativa.

Por ende, cabe indicar que la evidencia cualitativa refuerza los hallazgos cuantitativos al evidenciar una falta de claridad conceptual, así como el uso del lenguaje científico y la habilidad para resolver problemas. Por lo tanto, se debe señalar que los estudiantes presentaban inicialmente un conocimiento parcial, el cual puede fortalecerse mediante una intervención pedagógica que mejore la comprensión conceptual, el uso del lenguaje científico y el desarrollo de habilidades como la resolución de problemas.

Por otra parte, el instrumento demostró una excelente fiabilidad y consistencia interna, con un coeficiente alfa de Cronbach de 0,92, dentro del rango $\alpha \geq 0{,}90$, según los valores de la Tabla 9. En cambio, el análisis del desempeño de los ítems muestra una correlación total corregida que oscila entre 0,694 y 0,825; véase la Tabla 12. Estos valores superan significativamente el valor diagnóstico recomendado de 0,30 para una discriminación aceptable de ítems y la consistencia interna (Boateng et al., 2018), lo que indica que cada ítem presenta una fuerte integración con el resto y contribuye de manera significativa a la fiabilidad del instrumento. Además, los valores de alfa de Cronbach al eliminar un ítem oscilan entre 0,906 y 0,918, lo que nuevamente indica que cada ítem está fuertemente interrelacionado con los demás y que la eliminación de ningún ítem en particular aumentaría el alfa general. Y se puede indicar

que la eliminación de cualquier ítem disminuiría la fiabilidad total del instrumento y, por ende, que los ocho ítems deben conservarse para evaluar la habilidad de resolución de problemas.

Tabla 12. *Valores de correlación corregidos entre ítems y el alfa de Cronbach en caso de eliminar un ítem para evaluar la habilidad de resolución de problemas.*

Item-Total Statistics				
	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Item 1	16.88	19.422	.704	.916
Item 2	16.94	20.684	.742	.916
Item 3	17.15	19.633	.737	.914
Item 4	17.24	19.877	.694	.917
Item 5	17.24	18.814	.825	.906
Item 6	17.42	18.502	.772	.911
Item 7	17.48	18.133	.810	.907
Item 8	17.52	18.383	.707	.918

8.2. Diseño de estrategia didáctica

La estrategia didáctica se desarrolló a partir de la integración del modelo de aprendizaje 7E con recursos de realidad aumentada, orientados al aprendizaje de la nomenclatura química y al fortalecimiento de la habilidad de resolución de problemas. Su diseño respondió a la necesidad de que los estudiantes no solo memorizaran reglas de nomenclatura, sino que también pudieran interpretar fórmulas, reconocer iones, establecer relaciones entre nombre y estructura química y aplicar estos conocimientos en situaciones-problema. En este sentido, la estrategia articula actividades de exploración, visualización, análisis, aplicación y reflexión, lo que permite que los estudiantes construyan progresivamente explicaciones más fundamentadas en el lenguaje de la química. A continuación, se describen las fases del modelo 7E en el marco de la estrategia didáctica diseñada para el aprendizaje de la nomenclatura química inorgánica y el fortalecimiento de la resolución de problemas.

Tabla 13. *Desarrollo de las fases del diseño de la estrategia didáctica mediante el modelo 7E.*

Fase	Enganchar
Duración	180 minutos
Objetivo	Contextualización de la nomenclatura química inorgánica y desarrollo de la habilidad para identificar reglas de nomenclatura y aplicarlas a la resolución de una situación-problema de ambigüedad química.
Abordaje	Utilización del modelo +1 Routine y del video para generar interés y activar el conocimiento previo, y resolver un error de etiquetado de productos químicos en una situación-problema, seguida de la deducción de las reglas de nomenclatura a partir de Discovery learning.
Nivel Interpretativo	Macroscópico
Material	- Ficha de situaciones problema - Video de introducción: Why Is Chemical Nomenclature Important? - Chemistry For Everyone - Hoja de +1 Routine - Guía breve para la nomenclatura de química inorgánica (Hartshorn et al., 2015)
Desarrollo	
Introducción y presentación de la situación problema	En grupos de cuatro, los estudiantes serán expuestos a una situación-problema cuyo tema central será la confusión entre

(10 minutos)	compuestos químicos, generada por la ambigüedad en su etiquetación.
Definición del problema (5 minutos)	Como ejercicio y en sus grupos, los estudiantes deberán plantear una pregunta-problema para resolver la situación causada por la ambigüedad en la etiquetación (por ejemplo: ¿Cómo podemos nombrar un compuesto de manera única para evitar que se confunda con otro de características similares?).
Seguridad, Activación y demanda de Reglas (+1 Routine) (20 minutos)	Se presentará a los estudiantes un breve video sobre la seguridad química, seguido de la aplicación de la +1 Rutina para introducir la nomenclatura inorgánica, generar interés y activar el conocimiento previo.
Deducción y Construcción de Reglas de Nomenclatura (Discovery Learning) (25 minutes)	En sus grupos, los estudiantes deducirán las reglas de nomenclatura inorgánica a partir de ejemplos de distintas especies inorgánicas. Las reglas deducidas serán expuestas por los estudiantes, quienes deberán aportar una razón para cada una. Estas reglas se corroborarán o se modificarán con base en la guía de nomenclatura de la química inorgánica.
Aplicación del Concepto y Respuesta al Problema (15 minutos)	En sus grupos, los estudiantes deberán responder la pregunta-problema planteada inicialmente, indicando la importancia de las reglas de nomenclatura y cómo estas reglas evitan la confusión y la ambigüedad en la etiquetación de los compuestos.

Resumen *(15 minutos)*	El docente hará un resumen sobre la importancia de la nomenclatura inorgánica, así como de las reglas de nomenclatura inorgánica según la guía de nomenclatura de química inorgánica.

Fase	Elicitar
Duración	90 minutos
Objetivo	Introducir la realidad aumentada que se pretende abordar para el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica y, finalmente, para el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas.
Abordaje	Utilización de la indagación en conjunto con la interacción para lograr que los alumnos tengan un rol activo y de esta forma, presenten la motivación necesaria para el aprendizaje de manera más efectiva que con las actividades pasivas.
Nivel Interpretativo	Macroscópico
Material	- Hoja de +1 Routine - Video de realidad aumentada: What is Augmented Reality (AR)? By IBM Technology - Herramientas de RA (Molecular Web y Atomiqa) y dispositivos electrónicos.
Desarrollo	
Activación del conocimiento previo *(10 minutos)*	La siguiente pregunta se les plantea a los estudiantes: - "What is your understanding of the term 'Augmented Reality'?"

	Les estudiantes serán elegidos aleatoriamente para responder la pregunta inicial, registrando las ideas centrales en la pizarra bajo el título: - *"What do I know?".* El propósito central de esta actividad es hacer visibles el conocimiento previo y los posibles conceptos erróneos de los estudiantes.
Exposición inicial del nuevo concepto (+1 Routine) *(20 minutos)*	Los estudiantes serán presentados a un breve video sobre qué es la realidad aumentada y algunos ejemplos generales. Esto se seguirá de la aplicación de la +1 Routine para confrontar las ideas previas con información actualizada y, de esta manera, estimular el cambio conceptual en torno a la realidad aumentada.
Comparación y reflexión (20 minutes)	En grupos de cuatro, los estudiantes discutirán las siguientes preguntas: - *What differences do you note between what you believe and what you know now regarding augmented reality?* - *How do you believe this technology can help us resolve problems in the chemistry class*? Las respuestas de los estudiantes se agruparán y se presentarán según las ideas centrales y su aplicación a la nomenclatura inorgánica.
Sistemas de RA (40 minutos)	Los estudiantes serán expuestos a las aplicaciones de realidad aumentada que se utilizarán en las próximas sesiones, con una

	explicación de su propósito general y de cómo se vincularán con el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica. Asimismo, los estudiantes tendrán la oportunidad de familiarizarse con las distintas aplicaciones de realidad aumentada.

Fase	Explorar
Duración	90 minutos
Objetivo	Aplicar las nociones básicas de Realidad Aumentada (RA) mediante el uso guiado de sistemas interactivos, con el fin de visualizar, identificar y nombrar compuestos inorgánicos según las reglas establecidas de la nomenclatura química, desarrollando así la habilidad de resolución de problemas y la comprensión macroscópica de los modelos químicos.
Abordaje	Basado en el aprendizaje por descubrimiento (Discovery Learning) y en la indagación guiada, en la que los estudiantes manipulan tarjetas con símbolos de elementos y radicales para formar compuestos, contrastando sus resultados con modelos 3D observados en aplicaciones de Realidad Aumentada. El docente cumple un rol de facilitador, orientando la observación, la comparación y la deducción de las reglas de nomenclatura a partir de la experiencia.
Nivel Interpretativo	Macroscópico-Simbólico
Material	- Dispositivos móviles o tabletas con conexión a internet

	- Aplicaciones de RA - Guía breve de nomenclatura inorgánica (Hartshorn et al., 2015) - Hoja de observación (para registrar nombres, fórmulas y tipos de compuestos)
Desarrollo	
Activación del conocimiento previo (10 minutos)	El docente retoma las conclusiones de la fase Elicitar, destacando qué es la RA y cómo aplicarla en química. Se plantea la pregunta: "*¿Cómo puede la RA ayudarnos a evitar confusiones en la identificación y el nombramiento de compuestos químicos?"* Los estudiantes compartirán sus pensamientos iniciales antes de comenzar la exploración.
Exploración guiada de sistemas RA (30 minutos)	Los estudiantes, organizados en grupos, utilizan aplicaciones de realidad aumentada para visualizar modelos tridimensionales de distintos compuestos inorgánicos (por ejemplo: dióxido de carbono, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, nitrato de sodio). Cada grupo registra: - Nombre del compuesto visualizado (según la aplicación) - Fórmula química - Tipo de compuesto - Observaciones sobre su estructura o propiedades El docente guía con preguntas:

	- What elements do you observe in the model? - What relationship do you notice between the name and the formula? - Why can't two different compounds have a similar appearance?
Actividad de combinación simbólica con tarjetas (aplicación de reglas de nomenclatura) *(30 minutos)*	Los grupos reciben un conjunto de tarjetas con símbolos químicos de cationes y aniones (por ejemplo: Na^+, Fe^{3+}, Ca^{2+}, Cl^-, O^{2-}, SO_4^{2-}, OH^-, NO_3^-). Cada grupo debe combinar tarjetas para formar compuestos válidos, escribir sus fórmulas químicas y nombrarlos según las reglas de nomenclatura inorgánica. Luego, clasifican el tipo de compuesto obtenido como covalente o iónico según su composición. Ejemplo: - $Na^+ + OH^- \rightarrow NaOH$ (sodium hydroxide) - $Fe^{3+} + O^{2-} \rightarrow Fe_2O_3$ (iron (III) oxide) - $Ca^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow CaSO_4$ (calcium sulfate) Propósito: Favorecer la comprensión de las reglas de formación y denominación de compuestos, promoviendo el razonamiento simbólico y la corrección de ambigüedades.

Discusión guiada y contraste RA–simbólico (15 minutos)	Los grupos presentan algunos de los compuestos formados y los comparan con los modelos 3D observados en RA. El docente refuerza los criterios de nomenclatura aplicados y resalta el uso combinado de la RA y las tarjetas para visualizar la estructura y nombrar correctamente los compuestos.
Cierre y reflexión (10 minutos)	Cada estudiante responde en su ticket de salida: - A compound I understood better was: - A nomenclature rule I applied correctly was: - Something new I learned about how models and formulas relate is: El docente recopila los tickets como evidencia diagnóstica.

Fase	Explicar
Duración	90 minutos
Objetivo	Guiar a los estudiantes en la formalización de los conceptos aprendidos sobre la nomenclatura inorgánica y su integración con la Realidad Aumentada (RA), para que sean capaces de evaluar situaciones problema y proponer soluciones químicamente fundamentadas utilizando el lenguaje simbólico y la representación tridimensional de los compuestos. Habilidades por desarrollar:

	- Uso de la tecnología en el aula: aplicación de herramientas de RA para el análisis químico. - Creatividad e innovación: diseño y presentación de soluciones químicas basadas en la nomenclatura. - Comunicación científica: argumentación y exposición, tanto orales como escritas, de las soluciones propuestas. - Resolución de problemas: aplicación del conocimiento conceptual, simbólico y tecnológico en contextos simulados
Abordaje	Basado en el aprendizaje basado en proyectos (ABP) y en la comunicación científica, en el que los estudiantes presentan públicamente el proceso seguido para resolver el problema planteado en la fase anterior. El docente actúa como moderador y evaluador, fomentando el razonamiento argumentativo y la transferencia del conocimiento a nuevas situaciones.
Nivel Interpretativo	Macroscópico-Microscopico-Molecular
Material	- Dispositivos móviles o tabletas con aplicaciones de realidad aumentada. - Presentaciones digitales - Fichas de situación-problema (las mismas que en la fase de Explicación). - Guía breve de nomenclatura inorgánica. - Rúbrica de evaluación de exposición.

	- Proyector o pantalla para presentaciones.
Desarrollo	
Introducción y propósito de la fase (10 minutos)	El docente presenta el propósito de la sesión: "*Today we will apply Augmented Reality and chemical nomenclature to solve real-world situations where it is necessary to identify or correct chemical compounds.*" Se recuerdan brevemente las herramientas de realidad aumentada utilizadas y se forman los grupos de trabajo.
Estaciones de aprendizaje – Resolución de situaciones problema (50 minutos)	Se organizan cuatro estaciones con desafíos distintos. Los grupos rotan por cada estación durante un tiempo asignado de 12 a 15 minutos. En cada estación deberán usar la realidad aumentada, la nomenclatura inorgánica y su razonamiento químico para analizar y resolver el caso. *Estación 1 – Identificación visual:* Mediante aplicaciones de realidad aumentada, los estudiantes observan varios modelos de compuestos y deben identificar su nombre, fórmula y tipo. *Estación 2 – Corrección de etiquetas:* A partir de una situación-problema (por ejemplo, un error en el etiquetado de productos químicos), los grupos deben detectar el

	error y etiquetar correctamente los compuestos según las reglas de nomenclatura. *Estación 3 – Combinación simbólica:* Usando las tarjetas de iones y radicales, los grupos deben formar compuestos que resuelvan un caso planteado por el docente (por ejemplo, "proponer un desinfectante adecuado que no sea corrosivo"). *Estación 4 – Visualización y justificación:* Los grupos utilizan una de las aplicaciones de realidad aumentada para representar en 3D el compuesto propuesto como solución, y luego justifican su elección ante el docente (por qué es adecuado, qué representa su estructura, y cómo se nombra correctamente).
Discusión y socialización de soluciones (20 minutos)	Cada grupo selecciona una de las situaciones resueltas y expone su proceso: cómo identificó el problema, qué compuestos propuso, cómo utilizó la RA y cómo aplicó las reglas de nomenclatura. El docente modera una discusión guiada en la que se analizan las distintas soluciones y se destacan los elementos comunes de los procesos de razonamiento.

Formalización del conocimiento (10 minutos)	El docente sintetiza los aprendizajes emergentes de la sesión, reforzando los siguientes conceptos: - Relación entre la estructura tridimensional y el nombre químico. - Importancia del lenguaje químico para evitar ambigüedades. - Aplicación práctica de la RA en la enseñanza de la química. - Finalmente, se presenta la rúbrica de evaluación del trabajo grupal.

Fase	Elaborar
Duración	90 minutos
Objetivo	Promover la elaboración y la comunicación de conclusiones científicas mediante la presentación de propuestas para resolver situaciones-problema que integran la nomenclatura inorgánica y el uso de tecnologías de Realidad Aumentada (RA). Los estudiantes deberán demostrar cómo el uso combinado del razonamiento químico y la visualización tridimensional contribuye a comprender y resolver ambigüedades químicas reales. Habilidades por desarrollar: - Elaboración de conclusiones: integrar los resultados, justificar las ideas y formular respuestas científicas argumentadas.

	- Uso de tecnología en el aula: aplicar herramientas de RA para la presentación visual de propuestas. - Comunicación científica: exponer con claridad ideas químicas y justificar la solución a una situación problema. - Pensamiento crítico y resolución de problemas: analizar resultados y transferir el conocimiento a contextos reales.
Abordaje	Basado en el aprendizaje basado en proyectos (ABP) y en la comunicación científica, en el que los estudiantes presentan públicamente el proceso seguido para resolver el problema planteado en la fase anterior. El docente actúa como moderador y evaluador, fomentando el razonamiento argumentativo y la transferencia del conocimiento a nuevas situaciones.
Nivel Interpretativo	Macroscópico – Microscópico – Molecular
Material	- Dispositivos móviles o tabletas con conexión a internet - Presentaciones digitales - Fichas de situación-problema (las mismas que en la fase de Explicación). - Guía breve de nomenclatura inorgánica. - Rúbrica de evaluación de exposición. - Proyector o pantalla para presentaciones.
Desarrollo	

Introducción a la actividad y propósito (10 minutos)	El docente explica el propósito de la sesión: "Today you will be the scientists presenting your solutions to the problem, justifying your chemical decisions and showing how Augmented Reality helped you visualise, understand, and solve the cases." Se recuerda que las propuestas deben integrar la nomenclatura, la representación RA y una conclusión argumentada.
Organización y preparación de las presentaciones (20 minutos)	Los grupos revisan su trabajo final de la fase anterior (Explicación), organizan sus materiales y preparan una presentación digital que incluya: - Breve descripción de la situación problema. - Análisis químico (fórmulas y nombres correctos). - Demostración de la RA del compuesto o de la solución propuesta. - Conclusión: "Cómo la RA ayudó a comprender y resolver el problema." El docente proporciona apoyo técnico y verifica la pertinencia de las conclusiones.
Presentación de las propuestas de resolución (40 minutos)	Cada grupo dispone de entre 5 y 7 minutos para exponer su propuesta ante la clase. Durante la presentación, deben: - Explicar la situación problema planteada.

	- Aplicar correctamente la nomenclatura inorgánica en la explicación. - Mostrar mediante el uso de la realidad aumentada el compuesto o reacción implicada. - Presentar una conclusión argumentada que destaque cómo la combinación del conocimiento químico y la tecnología permitió alcanzar la solución. Los demás grupos toman notas y preparan preguntas o comentarios para la ronda de discusión.
Ronda de discusión y retroalimentación (15 minutos)	Tras cada exposición, se realiza una breve ronda de preguntas del público y retroalimentación guiada por el docente, quien promueve la reflexión con preguntas como: - *What part of the process was the easiest to resolve?* - *How did augmented reality help in identifying and visualising the different compounds?* - *What did you learn from the use of chemical naming in scientific communication?*
Elaboración de conclusiones individuales (5 minutos)	Cada estudiante redacta una conclusión personal en su hoja de reflexión: - ¿What did I learn by applying augmented reality and chemical nomenclature to problem-solving?

	- How can I use this knowledge in other contexts or subjects? - Which part of the process helped me better understand chemistry?

Fase	Evaluar
Duración	90 minutos
Objetivo	Promover la elaboración y la comunicación de conclusiones científicas mediante la presentación de propuestas de resolución de situaciones-problema que integran la nomenclatura inorgánica y el uso de tecnologías de realidad aumentada (RA). Los estudiantes deberán demostrar cómo el uso combinado del razonamiento químico y la visualización tridimensional contribuye a comprender y resolver ambigüedades químicas reales. Habilidades por desarrollar: - Elaboración de conclusiones: integrar los resultados, justificar las ideas y formular respuestas científicas argumentadas. - Uso de tecnología en el aula: aplicar herramientas de RA para la presentación visual de propuestas.

	- Comunicación científica: exponer con claridad las ideas químicas y justificar la solución de una situación-problema. - Pensamiento crítico y resolución de problemas: analizar resultados y transferir el conocimiento a contextos reales.
Abordaje	Basado en el aprendizaje argumentativo y en la comunicación científica, en el que los estudiantes defienden su propuesta ante sus compañeros, utilizando la RA como herramienta de apoyo visual y conceptual. El docente asume el rol de evaluador y moderador, fomentando la precisión científica, la claridad expresiva y el uso adecuado del lenguaje químico.
Nivel Interpretativo	Macroscópico – Microscópico – Molecular
Material	- Dispositivos móviles o tabletas con conexión a internet - Aplicaciones de RA - Guía breve de nomenclatura inorgánica. - Ficha de exposición y autoevaluación. - Proyector o pantalla. - Rúbrica de exposición argumentativa.
Desarrollo	
Presentación del propósito y reglas de exposición	El docente presenta el propósito de la sesión: “To present and defend the solution to the problem, integrating augmented reality and inorganic chemical nomenclature.”

(10 minutos)	Luego, se presentan las reglas de exposición oral y se explican el uso del lenguaje científico, el tiempo asignado y los criterios de evaluación.
Preparación de la exposición *(15 minutos)*	Los grupos revisan su propuesta final (de la fase de Elaborar), ajustan su presentación y verifican que cumpla los requisitos: - Descripción clara de la situación problema. - Aplicación correcta de las reglas de nomenclatura. - Integración de la RA (modelo 3D o visualización). - Argumentación coherente y fundamentada. - Conclusión que sintetice la solución.
Exposición argumentativa *(50 minutos)*	Cada grupo dispone de 7–8 minutos para presentar su propuesta. Durante la exposición deben: - Introducir la situación problema y la pregunta principal. - Exponer su razonamiento químico y las fórmulas correctas. - Mostrar el modelo tridimensional del compuesto mediante RA. - Argumentar por qué su solución es la más adecuada o segura. - Concluir explicando la relación entre la RA y la resolución del problema. Los demás grupos escuchan activamente y preparan preguntas o contraargumentos.

Ronda de preguntas y retroalimentación (10 minutos)	Se abre una breve ronda de preguntas y comentarios. El docente guía la discusión con preguntas como: - *What criteria did you use to select your solution?* - *How did augmented reality help justify or visualise your proposed solution?* - *What did you learn about the importance and precision of inorganic chemical nomenclature?*
Cierre y reflexión final (5 minutos)	Los estudiantes completan una ficha de autoevaluación donde reflexionan sobre: - *What aspect(s) of my presentation were the strongest?* - *What could I have improved in my scientific argument?* - *How did augmented reality help me communicate my ideas more effectively?*

Fase	Extender
Duración	180 minutos
Objetivo	Promover la transferencia del conocimiento químico y tecnológico a un contexto ambiental realista y acotado, en el que los estudiantes apliquen la nomenclatura inorgánica y utilicen la Realidad Aumentada (RA) para analizar, proponer y comunicar soluciones sostenibles relacionadas con la contaminación del agua por compuestos inorgánicos.

	Habilidades por desarrollar: - Aplicación contextual del conocimiento químico: reconocer cómo la nomenclatura y la RA pueden utilizarse para analizar problemas ambientales reales. - Pensamiento crítico y sistémico: identificar causas, consecuencias y posibles soluciones científicas a problemas ambientales específicos. - Creatividad e innovación: diseñar propuestas visuales y argumentadas mediante RA. - Comunicación científica: elaborar informes y exposiciones claros, precisos y basados en evidencia.
Abordaje	Basado en el aprendizaje basado en problemas (ABP) con un enfoque ambiental acotado: la contaminación hídrica causada por compuestos inorgánicos como nitratos, sulfatos, y metales pesados (plomo, cobre, mercurio). Los estudiantes aplican la RA y la nomenclatura química para comprender la naturaleza de estos contaminantes, sus reacciones y alternativas de mitigación.
Nivel Interpretativo	Macroscópico-Microscópico-Molecular
Material	- Dispositivos móviles o tabletas con conexión a internet - Aplicaciones de RA - Guía breve de nomenclatura inorgánica

	- Artículos breves o infografías sobre la contaminación del agua en la región. - Fichas de trabajo para el plan y el reporte. - Pizarra o proyector para socialización - Rúbrica de evaluación para proyectos ambientales
Desarrollo	
Introducción al reto ambiental (Situación problema) *(10 minutos)*	El docente presenta la situación problema: "The water in a local community has a high level of inorganic salts and heavy metals, which affect human health and local agriculture. How can inorganic chemistry, supported by augmented reality, help us understand and propose sustainable solutions to this problem?" Se discuten ejemplos reales (como la contaminación por sulfatos o nitratos) y se delimita el campo: la contaminación hídrica por compuestos inorgánicos.
Formación de equipos y selección de enfoque *(10 minutos)*	Se forman grupos de 4–5 estudiantes. Cada grupo selecciona un tipo de compuesto inorgánico contaminante (por ejemplo, nitratos, plomo, cloruros, o sulfatos) y lo analiza desde tres niveles: - Macroscópico: efectos observables (agua turbia, olor, toxicidad).

	- Microscópico: estructura del compuesto mediante RA. - Molecular: fórmula, propiedades y reactividad.
Investigación y planificación del plan de acción *(30 minutos)*	Los grupos investigan el origen, las propiedades y los efectos del compuesto seleccionado. Con la guía de nomenclatura y los modelos RA, deben: - Nombrar correctamente los compuestos implicados. - Identificar posibles reacciones químicas de transformación o neutralización. - Proponer medidas de prevención o mitigación. - Diseñar un modelo RA que represente su propuesta.
Elaboración del informe ambiental *(25 minutos)*	Cada grupo redacta un informe estructurado que incluya: - Descripción del problema y contexto local. - Identificación de los compuestos inorgánicos (nombre y fórmula). - Análisis de su comportamiento químico (reacciones, propiedades). - Modelo RA del compuesto o solución propuesta. - Conclusiones y recomendaciones. El informe debe integrar texto, imágenes RA y una sección de conclusiones.
Exposición del plan y demostración RA	Cada grupo presenta su informe y su modelo RA ante la clase, explicando cómo la nomenclatura inorgánica y la visualización

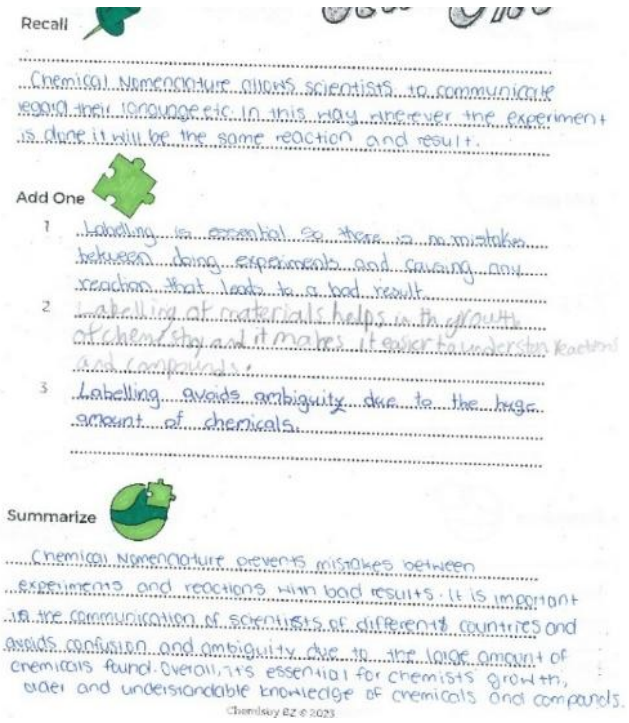
(10 minutos por grupo)	3D contribuyeron a comprender y resolver el problema ambiental planteado.
Cierre y reflexión *(10 minutos)*	El docente dirige una discusión general: - What did I learn about the relationship between chemistry and the environment? - How can augmented reality facilitate the understanding of environmental phenomena? - What action can we take in our community? Se consolidan los aprendizajes y se recopilan los informes como evidencia.

8.3. Resultados de estrategia didáctica

A partir de la estrategia desarrollada mediante el modelo 7E, se diseñaron varias actividades en las que los estudiantes presentaron respuestas diversas. Como primera parte, los estudiantes deberían proponer una pregunta-problema a partir de una situación controvertida en el contexto de la nomenclatura inorgánica. En esta fase se presentaron diversas respuestas en las que se puede indicar que los estudiantes podían plantear inicialmente una pregunta-problema e identificar la nomenclatura como problema central, dando así paso a la fase inicial de la resolución de problemas hacia la resolución de un problema central. En el desarrollo de las siguientes fases de la secuencia didáctica, los estudiantes demuestran la capacidad de reconocer la importancia de la nomenclatura inorgánica, por lo que la mayoría indica la necesidad de un lenguaje que evite confusiones y accidentes, para favorecer una comunicación efectiva. Por otra

parte, los estudiantes demuestran un entendimiento inicial de qué es la realidad aumentada y de sus posibles aplicaciones para facilitar las tareas en el ámbito educativo (Figuras 4 y 5).

Figura 4. *Imágenes del trabajo realizado por los estudiantes en las fases iniciales de la secuencia didáctica.*



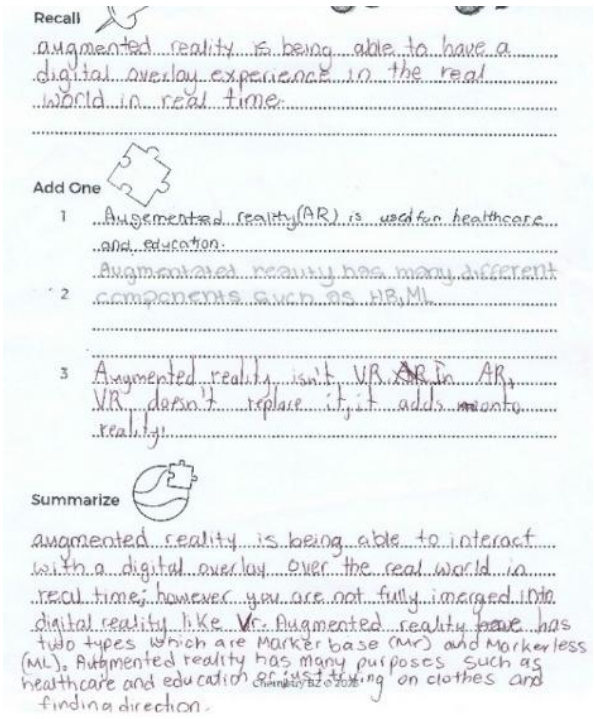
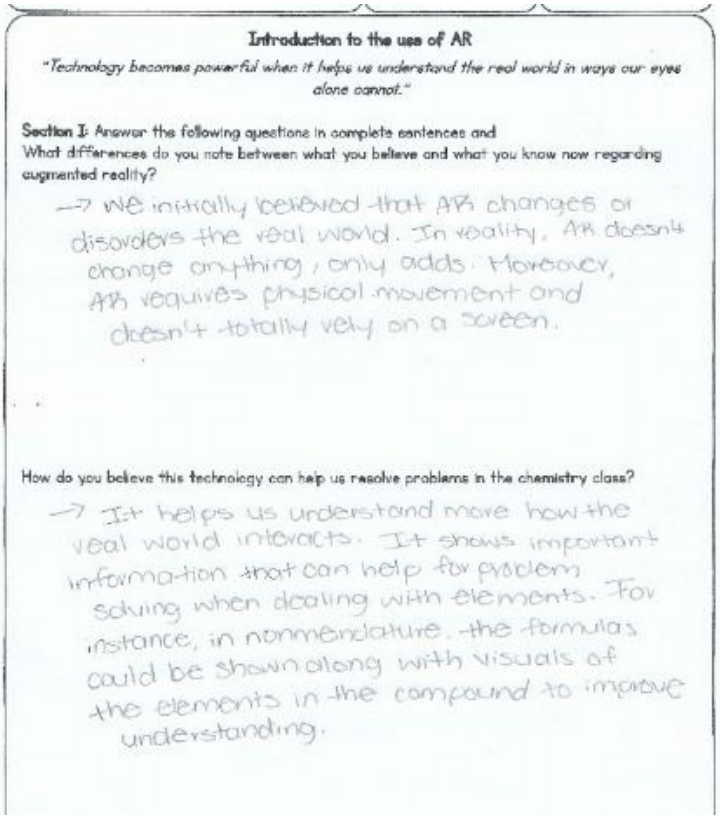


Figura 5. *Imagen de hoja de trabajo sobre el uso de la realidad aumentada en química*



Introduction to the use of AR

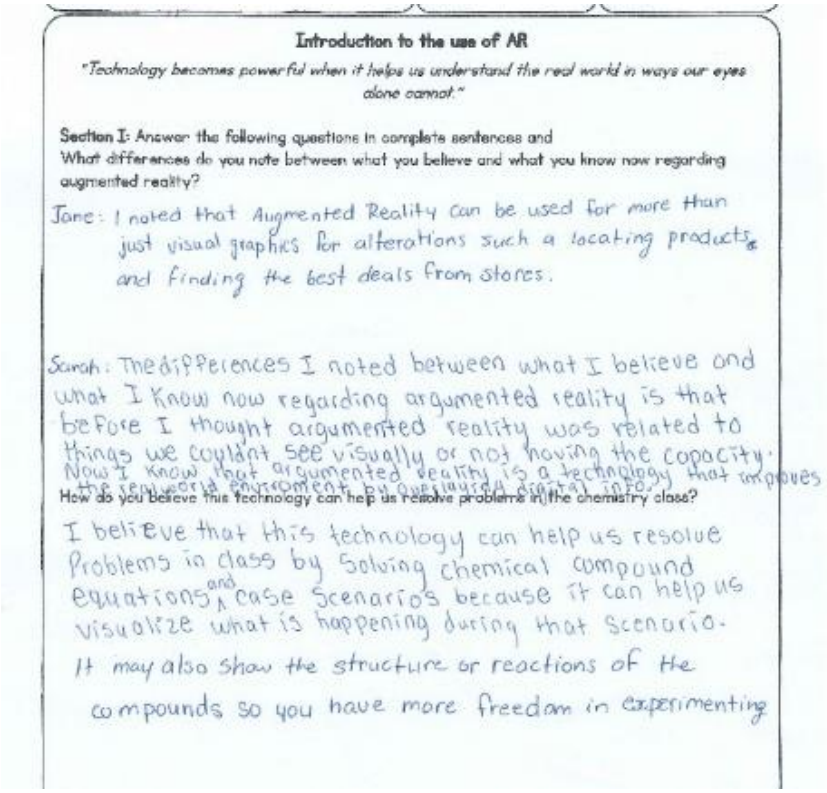
"Technology becomes powerful when it helps us understand the real world in ways our eyes alone cannot."

Section I: Answer the following questions in complete sentences and
What differences do you note between what you believe and what you know now regarding augmented reality?

—> We initially believed that AR changes or disorders the real world. In reality, AR doesn't change anything, only adds. Moreover, AR requires physical movement and doesn't totally rely on a screen.

How do you believe this technology can help us resolve problems in the chemistry class?

—> It helps us understand more how the real world interacts. It shows important information that can help for problem solving when dealing with elements. For instance, in nomenclature, the formulas could be shown along with visuals of the elements in the compound to improve understanding.



Introduction to the use of AR

"Technology becomes powerful when it helps us understand the real world in ways our eyes alone cannot."

Section I: Answer the following questions in complete sentences and
What differences do you note between what you believe and what you know now regarding augmented reality?

Jane: I noted that Augmented Reality can be used for more than just visual graphics for alterations such a locating products and finding the best deals from stores.

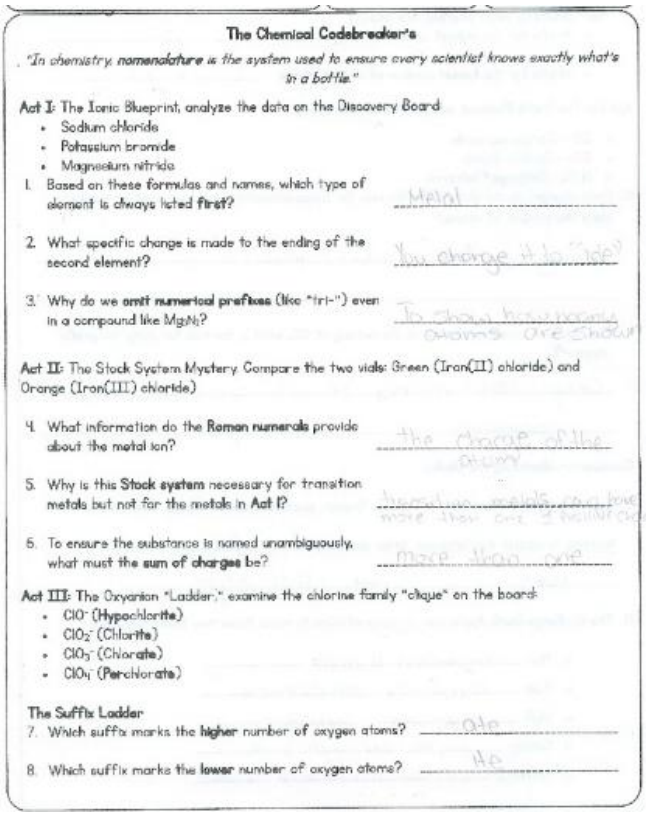
Sarah: The differences I noted between what I believe and what I know now regarding argumented reality is that before I thought argumented reality was related to things we couldnt see visually or not having the capacity. Now I know that argumented reality is a technology that improves the real world environment by overlaying digital info.

How do you believe this technology can help us resolve problems in the chemistry class?

I believe that this technology can help us resolve Problems in class by solving chemical compound equations and case scenarios because it can help us visualize what is happening during that scenario. It may also show the structure or reactions of the compounds so you have more freedom in experimenting

En el desarrollo y contextualización de la nomenclatura química, se pudo notar que en lo general la mayoría de los estudiantes podían identificar las reglas para nombrar los compuestos inorgánicos, pero presentaban una dificultad en poder aplicar las reglas y nombrar distintos compuestos químicos debido a una confusión en cuanto a la aplicación de distintas pautas para nombrar los compuestos debían ser aplicadas, como se puede notar en la Figura 6. Resultados obtenidos de la contextualización de la nomenclatura inorgánica.

Figura 6. *Resultados obtenidos de la contextualización de la nomenclatura inorgánica.*



The Chemical Codebreaker's

*"In chemistry, **nomenclature** is the system used to ensure every scientist knows exactly what's in a bottle."*

Act I: The Ionic Blueprint, analyze the data on the Discovery Board

- Sodium chloride
- Potassium bromide
- Magnesium nitride

1. Based on these formulas and names, which type of element is always listed **first**? Metal
2. What specific change is made to the ending of the second element? You change it to "ide"
3. Why do we **omit numerical prefixes** (like "tri-") even in a compound like Mg_3N_2? To show how many atoms are there

Act II: The Stock System Mystery. Compare the two vials: Green (Iron(II) chloride) and Orange (Iron(III) chloride)

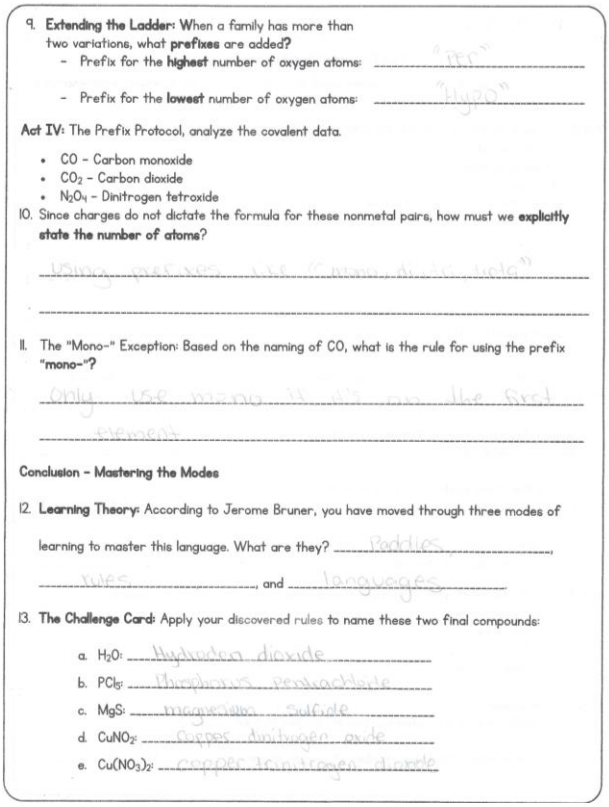
4. What information do the **Roman numerals** provide about the metal ion? the charge of the atom
5. Why is this **Stock system** necessary for transition metals but not for the metals in **Act I**?
6. To ensure the substance is named unambiguously, what must the **sum of charges** be? more than one

Act III: The Oxyanion "Ladder:" examine the chlorine family "clique" on the board

- ClO^- (**Hypochlorite**)
- ClO_2^- (**Chlorite**)
- ClO_3^- (**Chlorate**)
- ClO_4^- (**Perchlorate**)

The Suffix Ladder

7. Which suffix marks the **higher** number of oxygen atoms? ate
8. Which suffix marks the **lower** number of oxygen atoms? ite



9. **Extending the Ladder:** When a family has more than two variations, what **prefixes** are added?
   - Prefix for the **highest** number of oxygen atoms: _____
   - Prefix for the **lowest** number of oxygen atoms: _____

Act IV: The Prefix Protocol, analyze the covalent data.

- CO – Carbon monoxide
- CO_2 – Carbon dioxide
- N_2O_4 – Dinitrogen tetroxide

10. Since charges do not dictate the formula for these nonmetal pairs, how must we **explicitly state the number of atoms**?

_____

_____

11. The "Mono-" Exception: Based on the naming of CO, what is the rule for using the prefix **"mono-"?**

_____

_____

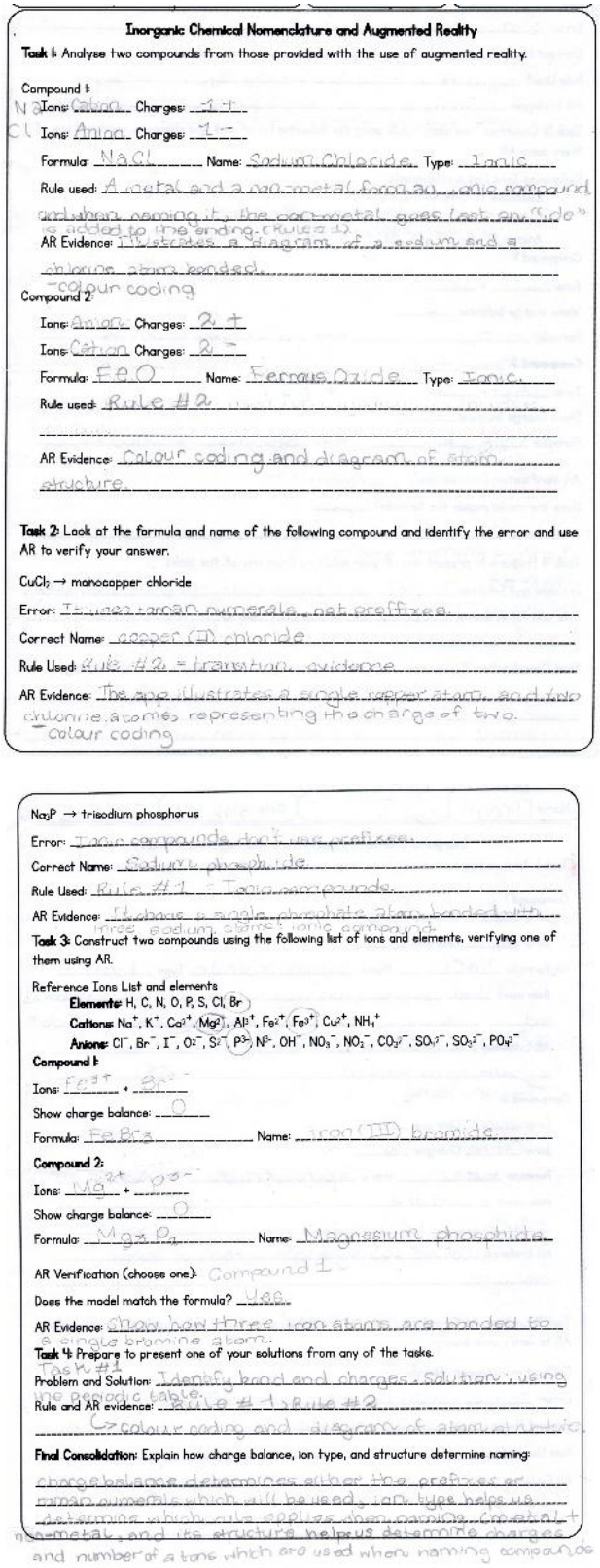
Conclusion – Mastering the Modes

12. **Learning Theory:** According to Jerome Bruner, you have moved through three modes of learning to master this language. What are they? _____, _____, and _____.

13. **The Challenge Card:** Apply your discovered rules to name these two final compounds:
    a. H_2O: _____
    b. PCl_5: _____
    c. MgS: _____
    d. $CuNO_2$: _____
    e. $Cu(NO_3)_2$: _____

Durante la implementación de la secuencia didáctica, los estudiantes emplearon las aplicaciones MolecularWeb y Atomiqa como recursos de realidad aumentada para visualizar distintos compuestos químicos en las actividades de nomenclatura inorgánica. MolecularWeb facilitó la observación de modelos moleculares a través de recursos web de realidad aumentada, mientras que Atomiqa permitió visualizarlos mediante una interfaz móvil. Ambas aplicaciones ayudaron a relacionar la estructura de varios compuestos con sus fórmulas y a establecer un vínculo con sus nombres correspondientes. Esta interacción permitió que los compuestos no solo se abordaran a partir de las fórmulas escritas, sino también mediante una representación visual que ayudó a identificar el tipo de compuesto y las reglas de nomenclatura a seguir.

Figura 7. *Resultado de las hojas de trabajo de la integración entre la nomenclatura inorgánica y la realidad aumentada.*



Inorganic Chemical Nomenclature and Augmented Reality

Task 1: Analyse two compounds from those provided with the use of augmented reality.

Compound 1:

Ions: Cation Charges: 1+

Ions: Anion Charges: 1−

Formula: NaCl Name: Sodium Chloride Type: Ionic

Rule used: A metal and a non-metal form an ionic compound and when naming it, the non-metal gives last syllable "ide" is added to the ending. (Rule #1)

AR Evidence: Illustrates a diagram of a sodium and a chlorine atom bonded.

-colour coding

Compound 2:

Ions: Anion Charges: 2+

Ions: Cation Charges: 2−

Formula: FeO Name: Ferrous Oxide Type: Ionic

Rule used: Rule #2

AR Evidence: Colour coding and diagram of atom structure.

Task 2: Look at the formula and name of the following compound and identify the error and use AR to verify your answer.

$CuCl_2$ → monocopper chloride

Error: Is uses roman numerals, not prefixes.

Correct Name: copper (II) chloride

Rule Used: Rule #2 = transition evidence

AR Evidence: The app illustrates a single copper atom and two chlorine atoms representing the charge of two.

-Colour coding

Na_3P → trisodium phosphorus

Error: Ionic compounds don't use prefixes.

Correct Name: Sodium phosphide

Rule Used: Rule #1 = Ionic compounds.

AR Evidence: It shows a single phosphate atom bonded with three sodium atoms: ionic compound.

Task 3: Construct two compounds using the following list of ions and elements, verifying one of them using AR.

Reference Ions List and elements

Elements: H, C, N, O, P, S, Cl, Br

Cations: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cu^{2+}, NH_4^+

Anions: Cl^-, Br^-, I^-, O^{2-}, S^{2-}, P^{3-}, N^{3-}, OH^-, NO_3^-, NO_2^-, CO_3^{2-}, SO_3^{2-}, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}

Compound 1:

Ions: Fe^{3+} + Br^-

Show charge balance: 0

Formula: $FeBr_3$ Name: iron (III) bromide

Compound 2:

Ions: Mg^{2+} + P^{3-}

Show charge balance: 0

Formula: Mg_3P_2 Name: Magnesium phosphide

AR Verification (choose one): Compound 1

Does the model match the formula? Yes

AR Evidence: Shows how three iron atoms are bonded to a single bromine atom.

Task 4: Prepare to present one of your solutions from any of the tasks.

Task #1

Problem and Solution: Identify bond and charges. Solution: using the periodic table.

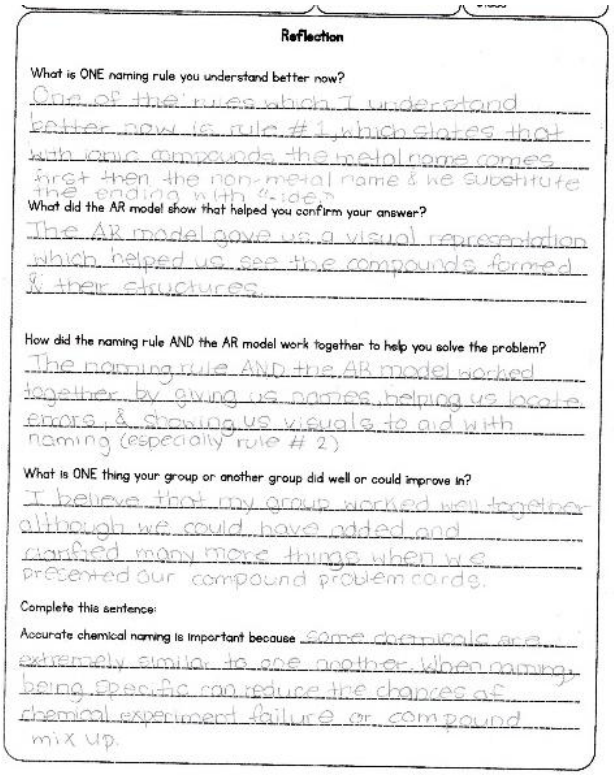
Rule and AR evidence: Rule #1 & Rule #2

-Colour coding and diagram of atom structure

Final Consolidation: Explain how charge balance, ion type, and structure determine naming:

charge balance determines either the prefixes or roman numerals which will be used, ion type helps us determine which rule applies when naming. (metal + nonmetal, and its structure helps us determine charges and number of ions which are used when naming compounds

Figura 8. *Reflexión sobre el uso de la realidad aumentada en el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica.*



Reflection

What is ONE naming rule you understand better now?

One of the rules which I understand better now is rule # 1, which states that with ionic compounds the metal name comes first then the non-metal name & we substitute the ending with "-ide."

What did the AR model show that helped you confirm your answer?

The AR model gave us a visual representation which helped us see the compounds formed & their structures.

How did the naming rule AND the AR model work together to help you solve the problem?

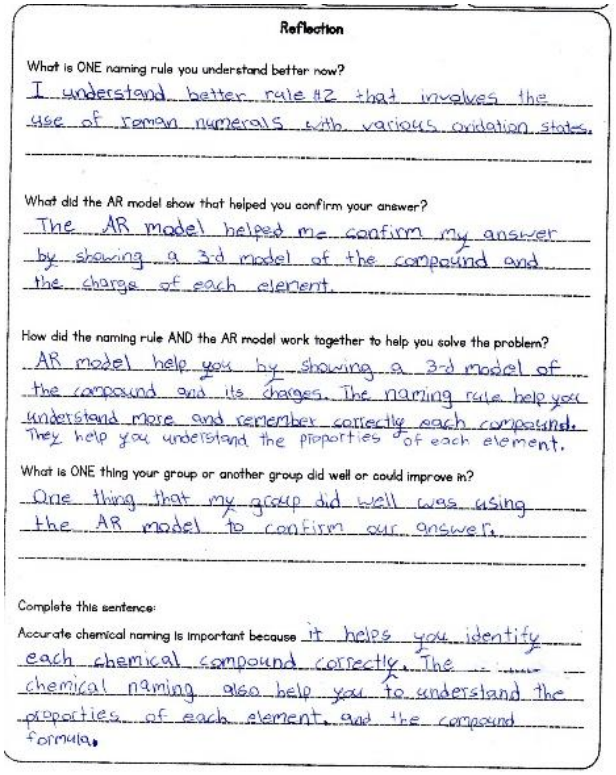
The naming rule AND the AR model worked together by giving us names, helping us locate errors, & showing us visuals to aid with naming (especially rule # 2)

What is ONE thing your group or another group did well or could improve in?

I believe that my group worked well together although we could have added and clarified many more things when we presented our compound problem cards.

Complete this sentence:

Accurate chemical naming is important because some chemicals are extremely similar to one another. When naming, being specific can reduce the chances of chemical experiment failure or compound mix up.



Reflection

What is ONE naming rule you understand better now?

I understand better rule #2 that involves the use of roman numerals with various oxidation states.

What did the AR model show that helped you confirm your answer?

The AR model helped me confirm my answer by showing a 3-d model of the compound and the charge of each element.

How did the naming rule AND the AR model work together to help you solve the problem?

AR model help you by showing a 3-d model of the compound and its charges. The naming rule help you understand more and remember correctly each compounds. They help you understand the properties of each element.

What is ONE thing your group or another group did well or could improve in?

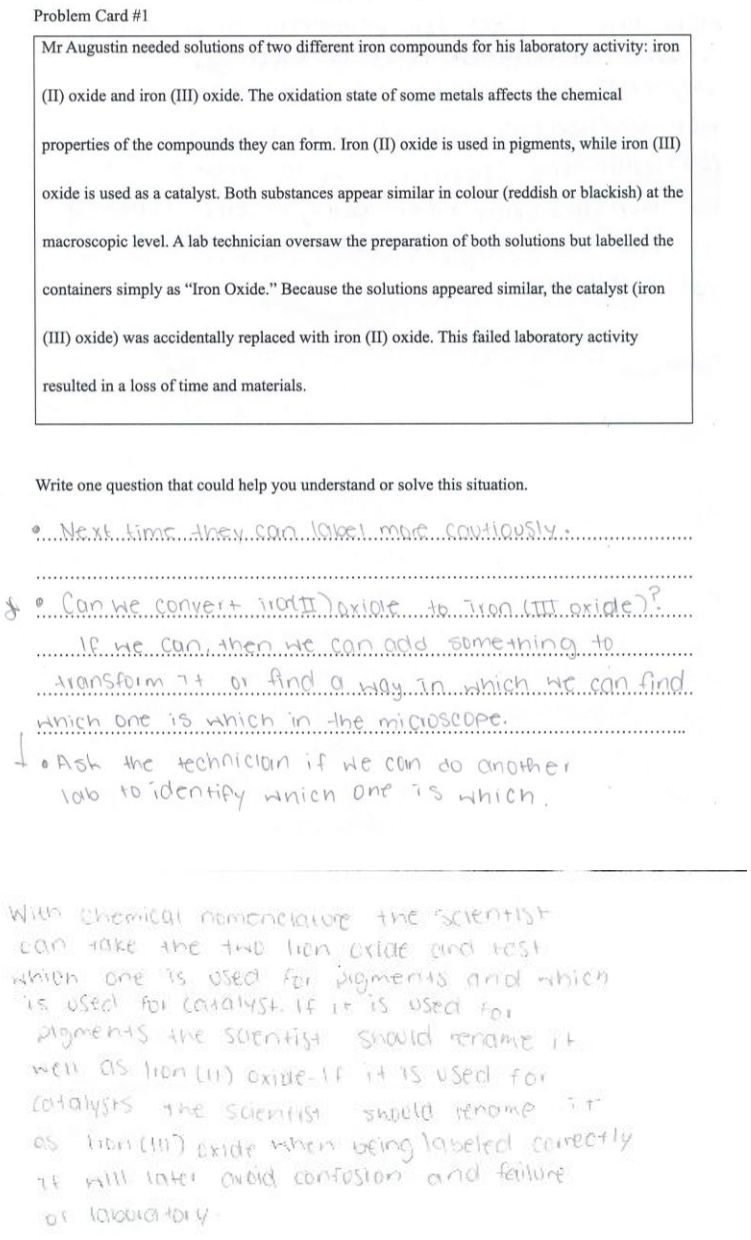
One thing that my group did well was using the AR model to confirm our answers.

Complete this sentence:

Accurate chemical naming is important because it helps you identify each chemical compound correctly. The chemical naming also help you to understand the properties of each element, and the compound formula.

En la fase de integración de la realidad aumentada y de la nomenclatura inorgánica, se observó que el uso de la realidad aumentada aportaba una nueva perspectiva sobre los compuestos químicos, ya que se reportó un mejor entendimiento de su estructura y de la aplicación de las reglas de nomenclatura inorgánica durante las actividades realizadas en la fase de desarrollo (Figura *7*) y en la reflexión de los estudiantes (Figura 8).

Figura 9. *Ejemplo de ficha de problema y de solución propuesta por los estudiantes.*



Problem Card #1

Mr Augustin needed solutions of two different iron compounds for his laboratory activity: iron (II) oxide and iron (III) oxide. The oxidation state of some metals affects the chemical properties of the compounds they can form. Iron (II) oxide is used in pigments, while iron (III) oxide is used as a catalyst. Both substances appear similar in colour (reddish or blackish) at the macroscopic level. A lab technician oversaw the preparation of both solutions but labelled the containers simply as "Iron Oxide." Because the solutions appeared similar, the catalyst (iron (III) oxide) was accidentally replaced with iron (II) oxide. This failed laboratory activity resulted in a loss of time and materials.

Write one question that could help you understand or solve this situation.

- Next time they can label more cautiously.
- Can we convert iron(II) oxide to iron (III oxide)? If we can, then we can add something to transform it or find a way in which we can find which one is which in the microscope.
- Ask the technician if we can do another lab to identify which one is which.

With chemical nomenclature the scientist can take the two iron oxide and test which one is used for pigments and which is used for catalyst. If it is used for pigments the scientist should rename it well as iron (II) oxide. If it is used for catalysts the scientist should rename it as iron (III) oxide when being labeled correctly it will later avoid confusion and failure or laboratory.

En términos de resolución de problemas, una revisión de preguntas y problemas previamente planteados demostró que los estudiantes retomaron ideas centrales y propusieron soluciones con base en el uso adecuado de la nomenclatura inorgánica para comunicar y resolver el problema planteado; véase la Figura 9. Además, en la reflexión final, los estudiantes indicaron una mayor comprensión de las reglas de nomenclatura, ya que la realidad aumentada les brindó una mejor perspectiva sobre los compuestos químicos y sobre cómo se forman los enlaces entre los diferentes átomos, según el tipo de compuesto. No obstante, cabe mencionar que no todos los estudiantes presentaron el mismo nivel de comprensión de las reglas de nomenclatura ni del uso constructivo de la realidad aumentada como herramienta para su comprensión. Esto indica que, aunque la secuencia didáctica proporcionó herramientas y una perspectiva diferente a la nomenclatura, las diferencias y dificultades encontradas por los estudiantes pueden estar asociadas al entendimiento de conceptos previos, al ritmo de aprendizaje, a la intensidad de la aplicación de la estrategia y, por ende, a la participación en las actividades de la secuencia.

8.4. Resultados del postest

La muestra inicial constaba de 33 estudiantes que completaron con éxito el pretest. Al final de la intervención, la muestra quedó compuesta por 27 estudiantes ($N = 27$), lo que representó una tasa de deserción del 18,18% respecto de la muestra inicial. La muestra estaba compuesta en su mayoría por estudiantes del género femenino ($n = 19$, 70,4%), con ocho del género masculino (29,6%). Por otra parte, la mayoría de los estudiantes indicó el uso del inglés y del español ($n = 20$, 74,8%), mientras que otros, principalmente, indicaron el uso de español ($n = 4$, 14,8%) u inglés ($n = 3$, 11,1%) como idioma principal en casa. La edad media de los estudiantes fue de 14 a 15 años. Geográficamente, los estudiantes estaban distribuidos entre

zonas urbanas (*n* = 18, 66,7%) y rurales (*n* = 9, 33,3%). En términos de las calificaciones medias, los estudiantes mejoraron de 60,2 (*DE* = 16,6) en el pretest a 68,9 (*DE* = 11,9) en el postest. Esto representa un incremento de 8,7 puntos, lo que sugiere un mejor desempeño general tras la implementación de la secuencia didáctica mediada por la realidad aumentada. En cuanto a la resolución de problemas de nomenclatura inorgánica, el camino indica que los estudiantes lograron aplicar con mayor precisión las reglas de nomenclatura, estableciendo relaciones más claras entre la fórmula y el nombre y justificando sus respuestas con mayor coherencia. Asimismo, la reducción de la desviación estándar, de 16,57 a 11,93, indica que el desempeño del grupo fue más homogéneo en el postest.

Tabla 14. *Análisis estadístico de los resultados del pretest y del postest.*

	Pretest	Post-test
Mean	60.18519	68.86574
Median	65.62500	75.00000
Variance	274.634	142.2339
Std. Deviation	16.572081	11.930585
Minimum	25.000	25
Maximum	100.000	75
Range	75.000	50

La matriz completa de resultados del postest, por estudiante e ítem, se encuentra en el Anexo *D*, mientras que la comparación individual entre pretest, postest y N-gain se encuentra en el Anexo *E*. Esta información facilita observar los cambios en el rendimiento individual de los estudiantes y complementa la interpretación estadística general del grupo.

Tabla 15. *Prueba de normalidad Shapiro-Wilk*

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
N_gain	.150	26	.137	.928	26	.068

a. Lilliefors Significance Correction

La prueba de Shapiro-Wilk se aplicó para evaluar la normalidad de los valores de N-gain, es decir, determinar si la distribución de los resultados de progreso de los estudiantes entre el pretest y el postest se ajustaba aproximadamente a una distribución normal. Esta prueba permite verificar si los datos se alejan de manera significativa de dicho supuesto; por ello, cuando el valor de significancia es mayor que 0,05, se interpreta que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de normalidad de los resultados. En este caso, la prueba de Shapiro-Wilk aplicada al valor de N-gain mostró un $p = 0{,}068$. Dado que este valor es mayor que 0,05, se puede concluir que los resultados de progreso de los estudiantes entre el pretest y el postest siguen una distribución aproximadamente normal. Por lo tanto, este resultado permitió interpretar la distribución del progreso individual de los estudiantes de manera complementaria al análisis comparativo entre el pretest y el postest.

Posteriormente, para evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las puntuaciones del pretest y del postest, se aplicó el paired sample t-test, cuyos resultados se presentan en la Tabla 16. Resultados de la prueba de paired-sample t-test..

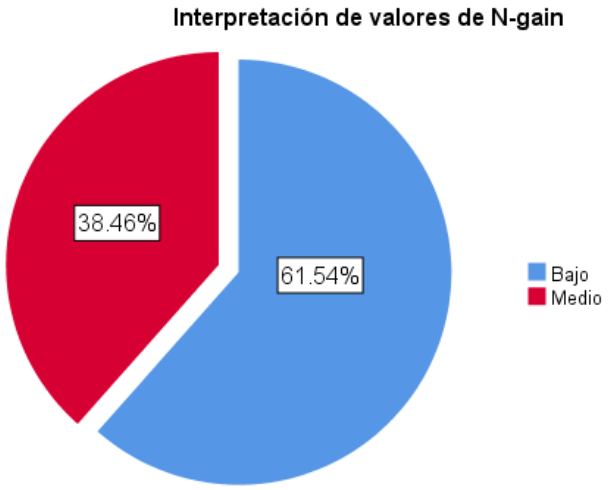
Tabla 16. *Resultados de la prueba de paired-sample t-test.*

Paired Samples Test									
		Paired Differences							
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	PreTest - Postest	-8.680556	15.657018	3.013195	-14.874266	-2.486845	-2.881	26	.008

Los resultados del paired-sample t-test muestran relación arrojan un valor de $p = 0{,}008$, es decir, $p < 0{,}05$, lo que permite rechazar la hipótesis nula (H_0), que establece que el uso de la realidad aumentada en el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica no permite el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en los estudiantes de tercer año de secundaria de Mount Carmel High School, en Benque Viejo del Carmen, Belice; y encontrar evidencia a favor de la hipótesis alternativa (Ha), la cual plantea que el uso de la realidad aumentada mediante el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica permite el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en los estudiantes de tercer año. Por lo tanto, se puede afirmar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados obtenidos en el pretest y en el postest, $t(26) = 2{,}881$, $p = 0{,}008$, antes y después de la intervención didáctica de aprendizaje de la nomenclatura inorgánica mediante realidad aumentada, orientada a desarrollar la habilidad de resolución de problemas. Esta diferencia se confirma con una media de 8,68 puntos en el par pretest-postest y un intervalo de confianza del 95% entre 2,49 y 14,87, lo que indica que los puntajes del postest fueron superiores a los del pretest. No obstante, este resultado debe interpretarse junto con el tamaño del efecto, el N-gain y las evidencias cualitativas, dado que el diseño de un solo grupo no permite atribuir el cambio exclusivamente a la realidad aumentada.

Además de la diferencia significativa, se determinó el tamaño del efecto mediante Cohen's *d* para muestras relacionadas ($d = 0{,}55$), lo que indica una magnitud moderada según los criterios presentados en la Tabla 10. Este resultado sugiere una mejora educativa apreciable, aunque no lo suficientemente alta como para afirmar un desarrollo consolidado de la habilidad de resolución de problemas en todos los estudiantes. En términos académicos, el valor de Cohen U_3 indica que aproximadamente el 71% de las calificaciones del pretest superaron la media del pretest. Por lo tanto, aunque una intervención didáctica basada en el modelo 7E y mediada por la realidad aumentada favoreció una mejora positiva en el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica y en la habilidad de resolución de problemas, su impacto debe interpretarse como moderado y no como un desarrollo plenamente consolidado en todo el grupo.

Figura 10. *Diagrama de interpretación de los valores de N-gain.*



De la distribución presentada, además, el 61,46 % de los estudiantes obtuvo un puntaje de N-gain en la categoría baja ($g < 0{,}3$), mientras que el 38,46 % en la categoría media ($0{,}3 \leq g < 0{,}7$); asimismo, no hubo estudiantes con puntaje de N-gain en la categoría alta ($g \geq 0{,}7$). Esta distribución indica que la mayoría de los estudiantes demostró una mejora limitada en comparación con el avance máximo posible en el desarrollo de la habilidad de resolución de

problemas mediante la realidad aumentada, así como en la nomenclatura de la química inorgánica. En relación con el aprendizaje de la nomenclatura inorgánica, varios estudiantes han mejorado en el reconocimiento de fórmulas, nombres, iones y reglas. Sin embargo, todavía tienen dificultades para aplicar estos conocimientos de manera integrada y autónoma en situaciones problemáticas. Los resultados muestran que, aunque la intervención mejoró aspectos como el análisis de la información, la selección de reglas y la relación entre la fórmula y el nombre, estos avances no fueron lo suficientemente sólidos como para que los estudiantes alcanzaran un alto nivel de rendimiento.

La escasa presencia de estudiantes en la categoría alta sugiere que el modelo de aprendizaje no promovió lo suficiente el desarrollo consolidado de la habilidad de resolución de problemas en el grupo. Aunque una proporción de los estudiantes (38,46 %) mostró una mejora moderada, el valor bajo de N-gain sugiere que la eficacia del modelo de aprendizaje se limitó a lograr que la mayoría de los estudiantes aplicara de forma razonada y consistente las reglas de nomenclatura inorgánica. Por lo tanto, se puede indicar que la intervención bajo este modelo de aprendizaje mostró mejoras de carácter básico a moderado en el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en el grupo. Si bien la intervención produjo una mejora estadísticamente significativa, la distribución del N-gain sugiere que el avance es principalmente de bajo a moderado, lo que indica efectos positivos derivados de la estrategia mediada por la realidad aumentada, especialmente al apoyar la visualización de los compuestos y la comprensión de sus estructuras; sin embargo, estos efectos no son suficientes para generar mejoras significativas en la mayoría de los estudiantes. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Elford et al. (2022), quienes indican que, aunque el uso de la realidad aumentada favorece la comprensión de

conceptos químicos, no se traduce en mejoras significativas en el rendimiento académico en comparación con el método tradicional.

En términos de la calidad de las respuestas obtenidas entre el pretest y el postest, y desde un análisis comparativo, se puede indicar que la diferencia significativa (p = 0,008) entre el pretest y el postest es el resultado de una transformación en las respuestas de los estudiantes de manera cognitiva y en la dimensión discursiva de las respuestas obtenidas, lo cual se evidencia en el incremento de la media de puntajes, que pasa de 60,2 a 68,9. Esta transformación también se evidencia en las respuestas cualitativas de los estudiantes durante la fase de reflexión (Figura 8), en la cual señalaron que el uso de la realidad aumentada les permitió visualizar mejor la estructura de los compuestos, relacionar con mayor claridad la formación química con el nombre correspondiente y comprender la aplicación de las reglas de nomenclatura inorgánica. Por ejemplo, un grupo indica que la visualización mediante realidad aumentada les ayudó a observar el compuesto con mayor claridad y a comprender mejor cómo se relacionaba su estructura con la fórmula y el nombre químico (Figura 7). La transformación discursiva de los estudiantes sirve como indicador de la motivación generada por el uso de la realidad aumentada y evidencia lo señalado por Bacca Acosta et al. (2019), quienes sostienen que tecnologías como la realidad aumentada favorecen la atención y la confianza de los estudiantes durante el proceso de aprendizaje. De esta manera, se sigue la corriente constructivista del aprendizaje, en la que el conocimiento se construye activamente mediante la reorganización de ideas (Fosnot, 2013), lo cual evidencia el efecto de la intervención didáctica basada en el modelo de las 7 Es y en el uso de la realidad aumentada para desarrollar la habilidad de resolución de problemas en los estudiantes. Los cambios observados entre el pretest y el postest se basan en la naturaleza de las respuestas de los estudiantes: inicialmente, se utilizaba un lenguaje cotidiano para describir el

problema y, posteriormente, un lenguaje más técnico, relacionado con la nomenclatura química y la identificación de iones como el nitrato y el fosfato. Estos cambios hacia un lenguaje más técnico y científico son evidencia de lo que Tasquier et al. (2016) consideran un factor necesario para el avance de la alfabetización científica y para la capacidad de representar distintos fenómenos con mayor precisión. De acuerdo con esto, se evidencia que la realidad aumentada es una tecnología que favorece múltiples representaciones externas que promueven el uso adecuado del lenguaje químico durante el proceso de razonamiento (Ripsam y Nerdel, 2024).

Por otra parte, el avance en términos de elaboración de explicaciones entre las distintas pruebas es evidente, ya que la transferencia incorrecta de conceptos de otras áreas inicialmente presentadas en la respuestas del pretest fueron reemplazadas por explicaciones más coherentes, las cuales estaban basadas en procesos químicos, como la concentración de iones y la eutrofización, reflexionando el proceso de cambio conceptual (Cakir, 2022), ocurrido, el cual explica la mejora en los puntajes y la reducción en la variabilidad, como se evidencia en la Tabla 16.

Tabla 17. *Comparación de respuestas entre el pretest y el postest.*

Pretest	**Post-test**
"cleaning the river"	"eutrophication, caused by high levels of nitrates (NO_3^-) and phosphates (PO_4^{3-})"
"pick up trash"	"The presence of nutrient ions (nitrates and phosphates) in the New River increases algal growth…"
"Measuring the PH of water to know what it needs"	"Use nomenclature, models, and water testing kits to identify and monitor pollutants…"
"Osmosis becasue the high solution of waste spread throughout the whole river…"	"orthophosphate (PO_4^{3-}), hydrogen phosphate (HPO_4^{2-}), and dihydrogen phosphate ($H_2PO_4^-$)"

“id put up a sighn that says 1billion rupies fine if u throw trash into the river…”	“We would use 3D modeling and Augmented Reality (AR) to teach students and factory managers the specific chemicals…”
“the waste from the septics n stuff… goes 2 the river n like its bad…”	“By visualizing how the ions interact with a system at the molecular level…”
“clean up after ourselves, and tell others not to litter”	“Use molecular web to see the segments.”
“the compounds being dumped into the river are not supposed to be there…”	“There are different types of nitrate and phospate compounds being released in the New River.”
“they can regulate the PH and plant aquatic plants to oxygenate the water”	“I will name each glass of algae with the compound that was added using proper chemical nomenclature…”
“the river has been affectd by the uncleaness that is produced by the people”	“We can use augmented reality… take samples of algae and different types of compounds virtualy and see what reaction they have.”

La complejidad de las respuestas obtenidas también es de notar, ya que inicialmente se planteaban soluciones simples, por ejemplo, “clean the river” y “pick up trash”, que fueron reestructuradas y fundamentadas mediante el uso de modelos y, en algunos casos, de la realidad aumentada para la visualización de procesos químicos, como se evidencia en la Tabla 17. Este cambio hacia respuestas más estructuradas indica una transición a niveles más altos de razonamiento, lo cual se alinea con el modelo 7E y con la indagación para lograr un pensamiento de alto nivel mediante respuestas estructuradas (Rahman y Chavhan, 2022). Por otra parte, este avance en la complejidad de las respuestas puede estar asociado con la capacidad de la realidad aumentada para facilitar la visualización de fenómenos químicos complejos, como se indica en Abdinejad et al. (2020), quienes destacan la potencia de esta tecnología para mejorar la comprensión conceptual mediante representaciones tridimensionales. Estos avances en la

complejidad de las respuestas también se alinean con los hallazgos de Nababan et al. (2025), quienes evidencian que el uso de recursos basados en realidad aumentada contribuye al desarrollo del razonamiento socio-científico, especialmente en la construcción de argumentos y en el análisis de situaciones problemáticas.

Por último, cabe destacar que, aunque se observaron avances en el uso de terminología adecuada y en respuestas más complejas y coherentes, no todos los estudiantes los presentaron, ya que algunas respuestas se limitaron a un uso superficial, con explicaciones de bajo nivel, lo que evidenciaba un aislamiento en el uso de términos científicos. Es importante destacar que el análisis de N-gain se realizó con 26 casos válidos, ya que uno de los registros no cumplió los requisitos para calcular el índice según la fórmula utilizada. Por lo tanto, la interpretación del N-gain se realizó como complemento del análisis comparativo pretest-postest. De esta manera, la distribución de N-gain en el nivel bajo-medio sugiere un desarrollo intermedio de la habilidad de resolución de problemas. No obstante, como se señala Gervasi et al. (2023), el impacto de tecnologías como la realidad aumentada puede variar según factores como la interacción, el diseño de las actividades y el contexto de implementación, lo cual podría explicar la presencia limitada de estudiantes en niveles altos de rendimiento.

9. CONCLUSIONES

Según los objetivos de esta investigación, centrados en evaluar el impacto de una estrategia didáctica basada en el modelo 7E y apoyada por la realidad aumentada para aprender la nomenclatura química inorgánica, los resultados indican una mejora moderada en la capacidad de resolución de problemas de los estudiantes de tercer año de secundaria en Belize. La puntuación media subió de 60,2 a 68,9, la desviación estándar bajó de 16,6 a 11,9 y el paired sample t-test mostró una diferencia estadísticamente significativa, $t(26) = 2,88$, $p = 0,008$. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que el tamaño del efecto fue moderado y el N-gain mostró avances variables entre los estudiantes.

Desde el instrumento diagnóstico se reconocieron las habilidades iniciales de resolución de problemas en los estudiantes, lo que evidenció un desempeño moderado, caracterizado por una comprensión fragmentada, un uso limitado del lenguaje científico y dificultades para estructurar soluciones fundamentadas. De igual manera, se evidencia el uso de explicaciones cotidianas que presentan inconsistencias conceptuales, lo que confirma la existencia de conocimientos básicos que requieren ser fortalecidos de manera intencional mediante una intervención pedagógica.

Mediante la construcción e implementación de la estrategia didáctica como intervención pedagógica, los resultados cualitativos evidencian que la integración del modelo 7E con la realidad aumentada favoreció la participación, la resolución de problemas y la comprensión progresiva de la nomenclatura inorgánica. Como instrumento tecnológico, la realidad aumentada permitió a los estudiantes visualizar estructuras químicas, establecer relaciones entre lo macroscópico, lo submicroscópico y lo simbólico, y facilitar la comprensión de las reglas de nomenclatura. Sin embargo, se observó una dificultad persistente para aplicar las reglas a

contextos nuevos, lo que sugiere que el proceso de retención conceptual requiere más tiempo con práctica guiada.

El desarrollo de la habilidad de resolución de problemas, evaluada mediante el postest, evidencia una mejora en el desempeño general, reflejada en el aumento de la media (de 60,2 a 68,9) y en la disminución de la dispersión de los resultados. Esto indica el avance de los estudiantes hacia respuestas más estructuradas, que emplean el lenguaje científico y el conocimiento químico para resolver situaciones problemáticas. No obstante, esta mejora en los resultados obtenidos está influida por factores como el nivel de conocimientos previos y la participación en la estrategia.

A partir de estos hallazgos, se concluye que el objetivo general se alcanzó parcialmente, en la medida en que la estrategia didáctica contribuyó al desarrollo progresivo de la habilidad de resolución de problemas; sin embargo, dicho desarrollo no fue homogéneo ni plenamente consolidado en todos los estudiantes. En respuesta a la pregunta de investigación, se determina que la realidad aumentada, articulada con el modelo 7E, actuó como un mediador pedagógico que favoreció la visualización, la motivación, la relación entre la fórmula y el nombre y la comprensión progresiva de la nomenclatura inorgánica. Sin embargo, su aporte a la resolución de problemas debe entenderse como moderado y dependiente de otros factores, como los conocimientos previos, el tiempo de intervención, la participación estudiantil y las condiciones tecnológicas disponibles.

Este estudio evidencia que la realidad aumentada, como un recurso didáctico-tecnológico pertinente, incluso en contextos con limitaciones tecnológicas, como el de Belize, constituye una alternativa para integrar la construcción de modelos químicos con las problemáticas reales del contexto de significación del estudiante. Entre las principales limitaciones metodológicas del

estudio se encuentran el tamaño de la muestra, la ausencia de un grupo de comparación, la duración limitada de la intervención y las condiciones tecnológicas del contexto educativo. Aunque participaron 33 estudiantes en el pretest, el análisis comparativo pretest-postest se realizó con 27 pares válidos, lo que limita la generalización de los resultados. Además, la disponibilidad de dispositivos, la conectividad y las aplicaciones gratuitas de realidad aumentada, con énfasis en la nomenclatura inorgánica, condicionaron la implementación de la estrategia. Por ello, los resultados deben interpretarse como evidencia situada de mejora en un contexto particular, y no como una generalización definitiva sobre el impacto de la RA en la enseñanza de la química.

Ante estas limitaciones, se proponen algunas recomendaciones que incluyen la integración de la realidad aumentada en los enfoques pedagógicos estructurados, así como la formación docente en el uso de estas tecnologías educativas y la investigación con un diseño más amplio y longitudinal que permita validar y profundizar en los resultados mediante el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada dedicada a la nomenclatura inorgánica.

En resumen, la realidad aumentada, como recurso didáctico-tecnológico integrado en una estrategia basada en el modelo 7E, favorece la visualización, la motivación y la comprensión progresiva de la nomenclatura inorgánica. Su aporte al desarrollo de la habilidad de resolución de problemas fue positivo, pero moderado, por lo que se requiere ampliar la duración de la intervención, fortalecer la práctica guiada, desarrollar recursos de RA específicos para la nomenclatura inorgánica y realizar estudios con muestras más amplias o con diseños comparativos que permitan evaluar con mayor precisión el alcance de esta tecnología en el aprendizaje de la química.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

Abdinejad, M., Talaie, B., Qorbani, H. S. y Dalili, S. (2020). Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education. *Journal of Science Education and Technology*, *30*(1), 87–96. https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, *6*(4), 355–385.

Bacca Acosta, J. L., Baldiris Navarro, S. M., Fabregat Gesa, R. y Kinshuk, K. (2019). Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. *Australasian Journal of Educational Technology*, *35*(3). https://doi.org/10.14742/ajet.4182

The Belize National Curriculum Framework. (2022). Ministry of Education, Culture, Science and Technology.

Benítez Romero, N. E. (2017). El uso de las TIC para el fortalecimiento del proceso de enseñanza y aprendizaje de la nomenclatura inorgánica.

Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quiñonez, H. R. y Young, S. L. (2018). Best Practices for Developing and Validating Scales for Health, Social, and Behavioral Research: A Primer [Review]. *Frontiers in Public Health*, *Volume 6 - 2018*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149

Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., Llorente-Cejudo, C. y Fernández Martínez, M. d. M. (2019). Educational Uses of Augmented Reality (AR): Experiences in Educational Science. *Sustainability*, *11*(18), 4990.

Cantillo Maldonado, I. I. (2016). *Enseñanza-aprendizaje de la nomenclatura química inorgánica a través de un modelo didáctico integrador*

Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E. y Ivkovic, M. (2010). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, *51*(1), 341–377. https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6

Carrizo, M. A., Barutti, M. E., Soto Amado, S. B., Montes, N. d. l. Á. y Sosa, M. A. (2024). Talleres áulicos enriquecidos con realidad aumentada: una iniciativa para promover la alfabetización científica. *Educación Química*, *35*(4), 171–183. https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.87883

Connelly, N. G., Damhus, T., Hartshorn, R. M. y Hutton, A. T. (2005). *Nomenclature of inorganic chemistry: IUPAC recommendations 2005*. Royal Society of Chemistry.

Cook, B. G., Cook, L. y Therrien, W. J. (2018). Group–difference effect sizes: Gauging the practical importance of findings from group–experimental research. *Learning Disabilities Research & Practice*, *33*(2), 56–63.

Craig, A. B. (2013). Understanding augmented reality: Concepts and applications.

Dron, J. (2023). *How Education Works: Teaching, Technology, and Technique*. Athabasca University Press. https://doi.org/10.15215/aupress/9781771993838.01

Duc, N. M. y Quang, N. V. (2024). Application of Augmented Reality in Chemistry Education: A Systemic Review Based on Bibliometric Analysis from 2002 to 2023. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, *12*(6), 1415–1434.

Elford, D., Lancaster, S. J. y Jones, G. A. (2022). Exploring the Effect of Augmented Reality on Cognitive Load, Attitude, Spatial Ability, and Stereochemical Perception. *Journal of*

Science Education and Technology, *31*(3), 322–339. https://doi.org/10.1007/s10956-022-09957-0

Garrido-Escudero, A. (2013). Using a Hands-On Method To Help Students Learn Inorganic Chemistry Nomenclature via Assembly of Two-Dimensional Shapes. *Journal of Chemical Education*, *90*(9), 1196–1199. https://doi.org/10.1021/ed300224m

Gervasi, O., Perri, D. y Simonetti, M. (2023). Empowering Knowledge With Virtual and Augmented Reality. *IEEE Access*, *11*, 144649–144662. https://doi.org/10.1109/access.2023.3342116

Goulet-Pelletier, J.-C. y Cousineau, D. (2018). A review of effect sizes and their confidence intervals, Part I: The Cohen'sd family. *The Quantitative Methods for Psychology*, *14*(4), 242–265.

Hakea, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: a sixthousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am J Phys*, *66*, 64–67.

Hartshorn, R. M., Hellwich, K.-H., Yerin, A., Damhus, T. y Hutton, A. T. (2015). Brief guide to the nomenclature of inorganic chemistry. *Pure and Applied Chemistry*, *87*(9-10), 1039–1049.

Hussain, K., Hoque, R. R., Balachandran, S., Medhi, S., Idris, M. G., Rahman, M. y Hussain, F. L. (2018). Monitoring and risk analysis of PAHs in the environment. *Handbook of environmental materials management*, *10*, 978–973.

Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, *48*(4), 63–85. https://doi.org/10.1007/bf02300500

Jonassen, D. H. (2010). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge.

Jugessur, Y. (2022). Reliability and internal consistency of data: Significance of calculating Cronbach's alpha coefficient in educational research. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, *11*(4), 09–14.

Keller, S., Rumann, S. y Habig, S. (2021). Cognitive Load Implications for Augmented Reality Supported Chemistry Learning. *Information*, *12*(3), 96.

Kilbane, C. R. y Milman, N. B. (2013). *Teaching models: Designing instruction for 21st century learners* (1st ed.). Pearson Higher Ed.

Laohapornchaiphan, J. y Chenprakhon, P. (2024). A review of research on learning activities addressing the submicroscopic level in chemistry. *Journal of Chemical Education*, *101*(11), 4552–4565.

Leigh, G. J. (2011). *Principles of chemical nomenclature: a guide to IUPAC recommendations*. Royal Society of Chemistry.

Leupín, R. E. (2016). Active pedagogy or active methods? The case of active learning at university. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, *10*(1), 16.

Nababan, K., Siregar, D. M., Tarigan, V., Purba, L. S. L. y Renta, R. (2025). Augmented Reality-Based Smart Digital Interactive Media to Enhance High School Students Socio-Scientific Reasoning in Chemistry. *Jurnal Pijar Mipa*, *20*(8), 1499–1506. https://doi.org/https://doi.org/10.29303/jpm.v20i8.10685

Nadila, S. P. R. y Dwiningsih, K. (2026). Augmented reality-based flashcards to improve senior high school students'visual intelligence in chemistry learning. *Jurnal eduscience*, *13*(1), 239–255. https://doi.org/https://doi.org/10.36987/jes.v13i1.8485

Nielsen, B. L., Brandt, H. y Swensen, H. (2016). Augmented Reality in science education–affordances for student learning. *Nordic Studies in Science Education*, *12*(2), 157–174. https://doi.org/10.5617/nordina.2399

Nugroho, A. A. y Masykuri, M. (2025). The Effects of Socioscientific Inquiry Based Learning on Students' Problem-Solving Skills. *Journal of Baltic Science Education*, *24*(1), 149–168.

Pankin, J. (2013). Schema theory. *Massachusetts Institute of Technology*.

Privitera, G. J. y Ahlgrim-Delzell, L. (2018). *Research methods for education*. Sage Publications.

Qi, Y., An, C., Huang, C., Lv, H. y Zhang, H. (2024). Enhancing Critical Thinking in Vocational Chemistry Education: Active Learning Strategies in Vocational Training. *Journal of Chemical Education*, *101*(11), 4892–4903. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00887

Quack, M. (2023). Science and Arts, Philosophy and Science: Why after All? Why Not? *Helvetica Chimica Acta*, *106*(4), e202200174. https://doi.org/10.1002/hlca.202200174

Rahman, M. S. y Chavhan, D. R. (2022). 7E model: An effective instructional approach for teaching learning. *EPRA Int. J. Multidiscip. Res*, *8*(1), 339–345.

Ribič, L. y Devetak, I. (2025). Augmented reality in developing students' understanding of chemistry triplet: a systematic literature review. *Chemistry Teacher International*, *7*(1), 157–172. https://doi.org/doi:10.1515/cti-2024-0060

Ripsam, M. y Nerdel, C. (2024). Augmented reality for chemistry education to promote the use of chemical terminology in teacher training. *Frontiers in Psychology*, *15*, 1392529. https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1392529

Rizqullah, A. F. y Lutfi, A. (2021). Interactive Chemistry Teaching Material Based on Augmented Reality Technology In Covalent Bonding Submaterial. *Chemistry Education Practice*, *4*(1), 49–58.

Sirakaya, M. y Alsancak Sirakaya, D. (2022). A case study: what attracts teachers to augmented reality. *Participatory Educational Research*, *9*(6), 192–205. https://doi.org/10.17275/per.22.135.9.6

Snyder, L. G. y Snyder, M. J. (2008). Teaching critical thinking and problem solving skills. *The Journal of Research in Business Education*, *50*(2), 90.

Steele, J., Hedberg, J., Fitzgerald, R., Munnerley, D., Bacon, M. y Wilson, A. (2012). Confronting an augmented reality. *Research in Learning Technology*, *20*(sup1), 39–48. https://doi.org/10.3402/rlt.v20i0.19189

Yapılandırılmış, İ. O. Ö. K. y Çözüyor, P. N. (2005). How do Elementary School Students Solve Ill-Structured Problems?

ANEXOS

Anexo A. Instrumento de Evaluación.

The New River: Linking Chemistry, Society, and the Importance of Clear Names

In 2019, the waters of the New River in Orange Walk turned brown, and the air filled with a sulphur smell. Fish floated by the thousands. Schools closed. “The stink kept people away,” a shopkeeper told reporters (The New River is polluted: So says the Department of the Environment, 2019).

People called it the “sick river.” Tests conducted by the Department of the Environment revealed high nutrient levels. Fertiliser runoff, septic leaks, and factory waste were all flowing into the river. Reports have indicated that the influx of nitrates (NO_3^-) and phosphates (PO_4^{3-}) is driving algal growth (Barbosa et al., 2022; Drexler y Boles, 2024). When the algae died, the oxygen dropped, and the fish died with it. A resident of Tower Hill said, “When the water is hot, it has a funny smell… you can know it’s from the factory” (Drexler y Boles, 2024).

As a result, the industry came under scrutiny, prompting the Belize Sugar Industry (BSI) to admit that its wastewater was too hot. This led to the construction of cooling towers, a $9 million investment (BSI Cools Down Water Running to River, 2021). In May 2023, another mass fish kill hit the river. “The stench is back,” residents complained as dead fish lined the banks of the New River (Ku, 2023).

The algal growth is often attributed to “nitrates” or “phosphates,” but not all are alike. There is orthophosphate (PO_4^{3-}). There is hydrogen phosphate (HPO_4^{2-}). And there is dihydrogen phosphate ($H_2PO_4^-$). All of these compounds behave differently in water and play distinct roles in eutrophication (Le Moal et al., 2019). Without clear names, there is public confusion. Names must be clear and use an agreed-upon chemical naming system, serving as an effective means of communication (Hartshorn et al., 2015).

Teachers are seeking alternatives to visualising chemical nomenclature to reduce the cognitive load (Keller et al., 2021); some are turning to 3D models. Others are turning to other forms of immersive technologies. With these technologies, students can visualise atoms and ions in 3D and practice their names. Connecting inorganic nomenclature to the New River crisis makes chemistry real and shows how science can protect our environment.

Answer the following questions on the answer sheet provided with clear answers.

1. From the reading, identify one scientific problem (related to chemical compounds or processes) and one social, ethical, or economic problem linked to the New River crisis. Explain how both problems are connected.
2. Identify the inorganic chemistry concept or variable that best explains the pollution problem in the New River (e.g., ion, reaction type, compound class). Justify your choice using information from the text.
3. Write a problem statement based on the main problem you identified in #2. Your statement should include:
    a. the variable or concept,
    b. the context (New River), and
    c. the expected relationship between them.
4. Suggest a project title or topic that proposes a solution to the problem you identified, integrating scientific knowledge and community needs.
5. Describe, in writing, an experiment or model-based approach that could be used to test or demonstrate your proposed solution. In your response, explain:
    a. the objective of your design (what it aims to test or show);

b. the main steps or procedures you would follow; and

c. the scientific reasoning that explains how this design would provide evidence for your idea.

6. Explain how your solution could be implemented using chemical or educational tools (such as nomenclature systems, models, or technology). Describe how these tools help you observe, explain, or predict what happens in the New River.
7. If your solution were implemented, what positive and negative impacts might occur on the New River ecosystem, the surrounding community, and chemistry education? Consider both scientific and non-scientific perspectives.
8. Critically evaluate the feasibility and sustainability of your solution, considering the available resources, knowledge, and ethical implications.

Bibliography

Barbosa, M., Lefler, F. W., Berthold, D. E., Briggs-Gonzalez, V. S., Mazzotti, F. J. y Laughinghouse IV, H. D. (2022). Trophic state drives the diversity of protists in a tropical river (New River, Belize). Microorganisms, 10(12), 2425.

BSI Cools Down Water Running to River. (2021, 26 November 2021). 7News Belize. Retrieved 03 September from https://7newsbelize.com/sstory.php?nid=60033

Drexler, K. y Boles, E. (2024). Cultural Eutrophication Impacts on New River in Northern Belize: A Community Capitals Assessment. Advances in Environmental and Engineering Research, 5(3), 1-20.

Hartshorn, R. M., Hellwich, K.-H., Yerin, A., Damhus, T. y Hutton, A. T. (2015). Brief guide to the nomenclature of inorganic chemistry. Pure and Applied Chemistry, 87(9-10), 1039-1049.

Keller, S., Rumann, S. y Habig, S. (2021). Cognitive Load Implications for Augmented Reality Supported Chemistry Learning. Information, 12(3), 96.

Ku, K. (2023, 30 May 2023). Another Mass Fish Death in Orange Walk's New River. Retrieved 03 September from https://amandala.com.bz/news/another-mass-fish-death-in-orange-walks-new-river/

Le Moal, M., Gascuel-Odoux, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., Moatar, F., Pannard, A., Souchu, P. y Lefebvre, A. (2019). Eutrophication: a new wine in an old bottle? Science of the total environment, 651, 1-11.

The New River is polluted: So says the Department of the Environment. (2019, 10 August 2019). Retrieved 03 September 2025 from https://amandala.com.bz/news/river-polluted/

Anexo B. Rúbrica de evaluación del proceso de resolución de problemas. Adaptado de Nugroho y Masykuri (2025).

Aspecto	Indicador	Puntuación			
		4	**3**	**2**	**1**
Definir el problema	Elaborar un esquema del problema (conexión entre varios temas socio-científicos identificados).	Los resultados de la identificación del problema están escritos con gran detalle, de forma específica y sistemática, y se basan en perspectivas científicas y no científicas (por ejemplo, económicas, éticas o sociales).	Los resultados de la identificación del problema están escritos con detalle y especificidad, pero de manera menos sistemática, basados en perspectivas tanto científicas como no científicas.	Los resultados de la identificación del problema están escritos con menos detalle y especificidad, y de forma menos sistemática, basados en perspectivas tanto científicas como no científicas.	Los resultados de la identificación del problema están redactados de manera poco detallada, poco específica y poco sistemática.
	Determinar los principales problemas que deben resolverse.	Los principales problemas identificados son importantes y están expuestos de manera lógica y sistemática, con base en perspectivas científicas y no científicas (económicas, éticas o sociales).	Los problemas identificados son importantes y están escritos de manera lógica, aunque de forma menos sistemática, y se basan en perspectivas tanto científicas como no científicas.	Los problemas identificados son importantes, pero están redactados de manera menos lógica y sistemática, y se basan en perspectivas científicas y no científicas.	El problema principal identificado es menos importante, ilógico y no sistemático, y se basa en perspectivas tanto científicas como no científicas.
Explorar el problema	Crear una formulación del problema a partir del problema principal determinado.	La formulación del problema es muy lógica y sistemática, y utiliza oraciones de pregunta relevantes de acuerdo con el problema principal.	La formulación del problema es lógica y relevante, pero resulta menos sistemática y emplea oraciones que plantean preguntas pertinentes al problema principal.	La formulación del problema es menos lógica y sistemática, y utiliza oraciones de preguntas de acuerdo con el problema principal.	La formulación del problema no es lógica, ni sistemática, ni relevante.
	Determinar soluciones alternativas que puedan utilizarse para resolver el problema principal.	Las soluciones alternativas están escritas de forma lógica, relevante y sistemática, para resolver el problema identificado, considerando aspectos científicos (como nomenclatura química, modelos 3D o tecnología inmersiva) y necesidades de la comunidad.	Las soluciones alternativas están redactadas de forma lógica y relevante, pero son menos sistemáticas, considerando aspectos científicos y las necesidades de la comunidad.	Las soluciones alternativas están redactadas de forma menos lógica, menos relevante y menos sistemática, considerando aspectos científicos y las necesidades de la comunidad.	Las soluciones alternativas están escritas de forma ilógica, irrelevante y no sistemática.

Planificar e implementar la solución	Crear un plan de trabajo/diseño a partir de las soluciones alternativas elegidas.	El diseño está redactado de forma muy sistemática, incluyendo herramientas, materiales y pasos aplicables para resolver el problema principal identificado.	El diseño incluye herramientas, materiales y pasos aplicables, pero de manera menos sistemática.	El diseño está escrito de manera menos sistemática e incompleta, incluyendo solo algunas herramientas y pasos aplicables.	El diseño está escrito de manera no sistemática y no resulta aplicable para resolver el problema.
	Implementar soluciones basadas en los planes preparados.	La solución está implementada en términos reales o teóricos, de manera lógica y sistemática, y se revisa la literatura de acuerdo con el diseño de la solución especificada.	La solución está implementada en términos reales o teóricos, de manera lógica pero menos sistemática, y se revisa la literatura de acuerdo con el diseño de la solución especificada.	La solución está implementada en términos reales o teóricos, pero es menos lógica y sistemática, revisar la literatura.	La solución está implementada en términos reales o teóricos, pero no es lógica ni sistemática, incluso tras revisar la literatura.
Verificación y reflexión	Detectar eventos que puedan ocurrir fuera del resultado principal como consecuencia de la implementación de la solución.	Describe otros impactos (positivos y negativos) con gran detalle, de manera sistemática y en concordancia con la literatura revisada, basados en perspectivas científicas y no científicas (económicas, éticas, sociales).	Describe otros impactos (positivos y negativos) con suficiente detalle, de manera sistemática y en concordancia con la literatura revisada, basados en perspectivas científicas y no científicas.	Describe otros impactos (positivos y negativos) con menos detalle, menos sistemáticamente y con menor concordancia con la literatura revisada, basados en perspectivas científicas y no científicas.	Describe otros impactos (positivos y negativos), pero sin detalle ni de manera sistemática.
	Reflexionar sobre las ventajas y desventajas de las soluciones socio-científicas (solución elegida).	Escribe las ventajas y desventajas de forma muy completa, detallada y sistemática, desde la identificación del problema hasta la implementación de la solución, en el contexto del Río Nuevo y de la nomenclatura química.	Escribe las ventajas y desventajas de manera completa, detallada y sistemática, desde la identificación del problema hasta la implementación de la solución.	Escribe solo las ventajas o desventajas, sin suficiente detalle ni de manera sistemática, desde la identificación del problema hasta la implementación de la solución.	Escribe solo ventajas o desventajas, sin detalle ni de manera sistemática.

Anexo C. *Matriz de puntuación del pretest por estudiante e ítem.*

Estudiante	ítem								Puntaje total	Calificación
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	3	3	3	3	3	3	2	1	21	65.625
2	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
3	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
4	4	3	3	3	3	3	2	1	22	68.750
5	3	3	3	3	2	1	1	1	17	53.125
6	3	3	3	3	3	3	2	2	22	68.750
7	3	3	1	2	2	1	2	1	15	46.875
8	1	1	1	1	1	1	1	1	8	25.000
9	2	2	2	2	2	2	2	1	15	46.875
10	4	3	3	3	3	2	3	3	24	75.000
11	3	3	3	2	2	2	3	3	21	65.625
12	2	2	1	2	2	2	2	2	15	46.875
13	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
14	3	3	3	3	3	2	3	3	23	71.875
15	2	2	2	1	1	1	1	1	11	34.375
16	4	3	3	3	3	3	3	3	25	78.125
17	2	2	2	2	2	2	2	2	16	50.000
18	2	2	2	2	2	2	1	2	15	46.875
19	2	2	2	2	2	2	2	2	16	50.000
20	2	2	2	2	2	2	1	2	15	46.875
21	3	3	2	2	3	3	3	3	22	68.750
22	3	3	2	2	3	3	2	3	21	65.625
23	4	4	4	4	4	4	4	4	32	100.000
24	1	3	3	3	3	1	1	1	16	50.000
25	3	3	3	3	2	1	1	1	17	53.125
26	3	3	2	2	1	1	1	1	14	43.750
27	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
28	3	3	3	3	3	2	2	2	21	65.625
29	3	3	2	1	1	2	2	2	16	50.000
30	4	3	3	3	3	3	3	3	25	78.125
31	3	3	3	2	2	3	3	3	22	68.750
32	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
33	3	3	3	2	3	3	3	3	23	71.875
Total, N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33

Anexo D. *Matriz de puntuación del postest por estudiante e ítem.*

Estudiante	ítem								Puntaje total	Calificación
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**		
1	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
2	1	1	1	1	1	1	1	1	8	25.000
3	2	2	2	2	2	2	2	2	16	50.000
4	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
5	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
6	3	3	2	2	3	3	3	3	22	68.750
7	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
8	3	3	3	2	2	2	3	3	21	65.625
9	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
10	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
11	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
12	2	2	2	1	2	2	2	2	15	46.875
13	3	3	3	2	3	2	2	3	21	65.625
14	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
15	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
16	2	2	3	2	1	2	2	3	17	53.125
17	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
18	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
19	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
20	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
21	3	3	3	2	3	3	3	3	23	71.875
22	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
23	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
24	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
25	3	3	3	2	3	3	3	3	23	71.875
26	3	3	3	3	3	3	3	3	24	75.000
27	3	3	3	2	2	2	3	3	21	65.625
Total, N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Anexo E. *Resultados obtenidos del pretest y del postest.*

Estudiante	Calificación		N-gain
	Pretest	Postest	
1	46.875	75.000	.53
2	25.000	25.000	.00
3	46.875	50.000	.06
4	75.000	75.000	.00
5	65.625	75.000	.27
6	46.875	68.750	.41
7	75.000	75.000	.00
8	71.875	65.625	-.22
9	34.375	75.000	.62
10	78.125	75.000	-.14
11	50.000	75.000	.50
12	46.875	46.875	.00
13	50.000	65.625	.31
14	46.875	75.000	.53
15	68.750	75.000	.20
16	65.625	53.125	-.36
18	50.000	75.000	.50
19	53.125	75.000	.47
20	43.750	75.000	.56
21	75.000	71.875	-.12
22	65.625	75.000	.27
23	50.000	75.000	.50
24	78.125	75.000	-.14
25	68.750	71.875	.10
26	75.000	75.000	.00
27	71.875	65.625	-.22
Total, N	26	26	26

Anexo F. *Rutina de +1*

La rutina de +1 es una rutina de reflexión cuyo énfasis se centra en identificar las ideas centrales de una lectura, un video o una discusión. Esta rutina fue desarrollada por Project Zero de la Escuela de Posgrado en Educación de Harvard. Los pasos de esta rutina son los siguientes.

Repaso: En 2 o 3 minutos y de forma individual, cada alumno escribe una idea central de la presentación (lectura, video o discusión) que considera importante. El alumno debe escribir su idea de memoria sin consultar sus apuntes.

Añadir (+) 1: Los alumnos pasan sus hojas a la derecha. Durante 1 o 2 minutos, cada alumno revisa las ideas previas y añade una nueva. La idea nueva puede ampliar las ideas previas o ser una idea nueva relacionada con ellas. Repetiré este proceso al menos tres veces más.

Resumen: Las hojas regresan al propietario y los alumnos leen y revisan todas las ideas que contienen, preparando un resumen de las ideas escritas.

Presentación: De tres a cuatro estudiantes son seleccionados para dar lectura al resumen que han escrito sobre las ideas centrales identificadas.

Name: _____

AddOne

Recall 

Add One 

1

2

3

Summarize 

Anexo G. *Fichas de situaciones problema*

Problem Card #1

Mr Augustin needed solutions of two different iron compounds for his laboratory activity: iron (II) oxide and iron (III) oxide. The oxidation state of some metals affects the chemical properties of the compounds they can form. Iron (II) oxide is used in pigments, while iron (III) oxide is used as a catalyst. Both substances appear similar in colour (reddish or blackish) at the macroscopic level. A lab technician oversaw the preparation of both solutions but labelled the containers simply as "Iron Oxide." Because the solutions appeared similar, the catalyst (iron (III) oxide) was accidentally replaced with iron (II) oxide. This failed laboratory activity resulted in a loss of time and materials.

Write one question that could help you understand or solve this situation.

……

……

……

……

……

……..

Problem Card #2

Belize Water Services (BWS) uses several compounds of sodium and chlorine during disinfection at all its water processing plants. Sodium hypochlorite is used as a disinfectant, while sodium chlorate has herbicidal properties and is toxic. The companies' purchasing orders and the inventory system use abbreviated names for both compounds, which, over the years, has created confusion. Last month, when one of the plants requested "the chlorine salt for disinfection," an operator mistakenly used sodium chlorate, compromising the safety of the water processing plant, due to the lack of precision in chemical labelling.

Write one question that could help you understand or solve this situation.

……

……

……

……

……

……..

Problem Card #3

A small soap company in northern Belize uses sodium hydroxide (caustic soda) for soap production and sodium bicarbonate for other cleaning products. Both are basic inorganic sodium compounds. When placing an order, the purchasing department requested "100 kg of the basic sodium compound" from the supplier of these compounds. Since both compounds fit that description, the supplier delivered 100 kg of a mixture of both compounds. This resulted in a failed soap production and economic loss to the company due to the lack of precise labelling.

Write one question that could help you understand or solve this situation.

……

……

……

……

……

……..

Anexo H. *Hoja de contextualización de la nomenclatura inorgánica*

Name	Date	Class

The Chemical Codebreaker's

*"In chemistry, **nomenclature** is the system used to ensure every scientist knows exactly what's in a bottle."*

Act I: The Ionic Blueprint, analyze the data on the Discovery Board:

- Sodium chloride
- Potassium bromide
- Magnesium nitride

1. Based on these formulas and names, which type of element is always listed **first**? _____
2. What specific change is made to the ending of the second element? _____
3. Why do we **omit numerical prefixes** (like "tri-") even in a compound like Mg_3N_2? _____

Act II: The Stock System Mystery. Compare the two vials: Green (Iron(II) chloride) and Orange (Iron(III) chloride)

4. What information do the **Roman numerals** provide about the metal ion? _____
5. Why is this **Stock system** necessary for transition metals but not for the metals in **Act I**? _____
6. To ensure the substance is named unambiguously, what must the **sum of charges** be? _____

Act III: The Oxyanion "Ladder," examine the chlorine family "clique" on the board:

- ClO^- (**Hypo**chlor**ite**)
- ClO_2^- (Chlor**ite**)
- ClO_3^- (Chlor**ate**)
- ClO_4^- (**Per**chlor**ate**)

The Suffix Ladder

7. Which suffix marks the **higher** number of oxygen atoms? _____
8. Which suffix marks the **lower** number of oxygen atoms? _____

9. **Extending the Ladder: W**hen a family has more than two variations, what **prefixes** are added**?**
   - Prefix for the **highest** number of oxygen atoms: _____
   - Prefix for the **lowest** number of oxygen atoms: _____

Act IV: The Prefix Protocol, analyze the covalent data.

- CO – Carbon monoxide
- CO_2 – Carbon dioxide
- N_2O_4 – Dinitrogen tetroxide

10. Since charges do not dictate the formula for these nonmetal pairs, how must we **explicitly state the number of atoms**?

_____

_____

11. The "Mono-" Exception: Based on the naming of CO, what is the rule for using the prefix "**mono-**"**?**

_____

_____

Conclusion – Mastering the Modes

12. **Learning Theory:** According to Jerome Bruner, you have moved through three modes of learning to master this language. What are they? _____,

_____, and _____.

13. **The Challenge Card:** Apply your discovered rules to name these two final compounds:

    a. H_2O: _____
    b. PCl_5: _____
    c. MgS: _____
    d. $CuNO_2$: _____
    e. $Cu(NO_3)_2$: _____

Anexo I. *Hoja de reflexión sobre el uso de RA*

Name	Date	Class

Introduction to the use of AR

"Technology becomes powerful when it helps us understand the real world in ways our eyes alone cannot."

Section I: Answer the following questions in complete sentences and
What differences do you note between what you believe and what you know now regarding augmented reality?

How do you believe this technology can help us resolve problems in the chemistry class?

Anexo J. Hoja de trabajo para el uso de la RA para modelizar compuestos químicos

Name	Date	Class

Augmented Reality Chemistry Investigation

Section I: You have been provided with some chemical formulas. Use Molecular Web to visualise the AR models. Observe the atoms present and use nomenclature rules to determine the correct compound name.

Chemical Formula	Type of Compound	Chemical Name

Section II: Choose one compound you visualised.

Formula: _____

Elements observed in AR: _____

Number of atoms of each element: _____

Explain how the AR model supported the chemical formula

Section III: Using the list of elements and ions provided, use the nomenclature rules to determine the correct chemical formula and compound name.

Elements / Ions	Predicted Chemical Formula	Predicted Compound Name

Section IV: Using Molecular Web to visualise the AR model for three of your compounds.

Compound formula: _____

Elements Observed: _____

Does the AR structure support the formula predicted? Explain.

Compound formula: _____

Elements Observed: _____

Does the AR structure support the formula predicted? Explain.

Compound formula: _____

Elements Observed: _____

Does the AR structure support the formula predicted? Explain.

Section V: Reflection

How did AR help you understand the relationship between formulas and names?

Why is it useful to visualise compounds when learning chemical nomenclature?

Anexo K. *Hoja de reflexión sobre el uso de la RA para comprender la nomenclatura inorgánica.*

Name	Date	Class

Reflection

What is ONE naming rule you understand better now?

_____

_____

_____

What did the AR model show that helped you confirm your answer?

_____

_____

_____

How did the naming rule AND the AR model work together to help you solve the problem?

_____

_____

_____

What is ONE thing your group or another group did well or could improve in?

_____

_____

_____

Complete this sentence:

Accurate chemical naming is important because _____

_____

_____

_____

Anexo L. *Validación de instrumento de evaluación*

Documento de Validación de Instrumento por Jueces Expertos

1. Datos generales

- Título del instrumento: *The New River: Linking Chemistry, Society, and the Importance of Clear Names*
- Propósito del instrumento: *Reconocer las habilidades de resolución de problemas que evidencian estudiantes de tercer año de secundaria en Mount Carmel High School, (Benque Viejo del Carmen-Belice), en el contexto de la química inorgánica.*
- Dirigido a: *Estudiantes de tercer año de secundaria en Mount Carmel High School*
- Investigador(es) responsable(s): *Kelvin Amilcar Requena*
- Institución: *Universidad Pedagógica Nacional*

2. Presentación

Estimado/a experto/a:

El presente instrumento ha sido diseñado con el propósito de reconocer las habilidades de resolución de problemas que evidencian estudiantes de tercer año de secundaria en Mount Carmel High School (Belice). Solicitamos su colaboración en la validación de contenido, con el fin de garantizar su pertinencia, claridad y coherencia.

Agradecemos su valiosa contribución para fortalecer la calidad metodológica de esta investigación.

3. Instrucciones para la validación

Por favor, revise cada ítem del instrumento y valore los criterios que se indican, utilizando la escala de evaluación propuesta.
Puede incluir observaciones y sugerencias de mejora.

Criterios sugeridos:
- Claridad: El ítem se comprende fácilmente, sin ambigüedad.
- Relevancia: El ítem es pertinente respecto al objetivo del instrumento.
- Coherencia: El ítem se ajusta a la dimensión o categoría que pretende medir.
- Suficiencia: El conjunto de ítems cubre adecuadamente el constructo.

Escala de valoración (ejemplo):
1 = Deficiente | 2 = Regular | 3 = Aceptable | 4 = Bueno | 5 = Excelente

4. Formato de evaluación de ítems

Ítem	Claridad	Relevancia	Coherencia	Observaciones / Sugerencias
Problemas vinculados a la crisis y nombres químicos	4	5	4	La pregunta es clara, pero conceptualmente densa: mezcla dos dimensiones distintas (análisis químico y análisis social). Se sugiere dividirla o especificar el foco ("describe separately the scientific and the social problems..."). Su relevancia es alta, pues sitúa la indagación en un contexto socioambiental real, pero podría provocar respuestas narrativas sin evidencia de razonamiento químico si no se orienta la estructura de respuesta.
Identificación del problema principal	4	4	3	El ítem repite parcialmente la intención del anterior. En su redacción, "main problem related to the New River and inorganic nomenclature" podría inducir a respuestas tautológicas ("the problem is pollution"), sin promover categorización conceptual. Se recomienda introducir un estímulo que fuerce la operacionalización del problema químico, por ejemplo: "Identify the variable or concept in inorganic chemistry that best explains the environmental problem."
Formulación del enunciado del problema	5	5	5	Este ítem, moviliza pensamiento científico de tipo formal. Permite evaluar la competencia para transformar un fenómeno contextual en una pregunta o declaración investigable. Sin embargo, se sugiere agregar un ejemplo o estructura esperada ("A good problem statement should include variable, context, and expected relation"). Altamente pertinente para evaluar la transición del pensamiento cotidiano al pensamiento científico.
Propuesta de proyecto o tema	5	5	5	Promueve la integración entre ciencia y necesidades comunitarias. Evalúa la competencia de transferencia de conocimiento, alineada con los niveles superiores de Bloom (síntesis y creación). La coherencia con el propósito del instrumento es sólida.
Diseño de la solución (esquema, diagrama o puntos descriptivos)	3	5	3	Ítem ambiguo en nivel cognitivo: no explicita si se espera un diseño experimental, tecnológico o conceptual. La palabra "design" puede provocar respuestas ilustrativas sin fundamento científico. Se sugiere acotar la demanda: "Design an experiment or model-based representation to test your idea." Actualmente, evalúa más creatividad que pensamiento científico sistemático.

Implementación con herramientas químicas o educativas	4	5	4	El ítem es relevante y coherente con el enfoque didáctico del estudio (nomenclatura, modelización, tecnología), pero carece de indicadores de logro observables. Podría añadirse: "Explain how the tool supports observation, explanation, or prediction." Así se vincula la selección del recurso con el proceso de indagación, no solo con su aplicación práctica.
Impactos positivos y negativos	5	5	5	Ítem de alto valor epistémico: introduce una dimensión ética y reflexiva poco habitual en instrumentos escolares. Permite evaluar razonamiento argumentativo y comprensión sistémica (efectos ambientales, sociales y educativos).
Ventajas y desventajas de la propuesta	4	4	4	Cierra el ciclo reflexivo, pero puede solaparse con el ítem anterior. En su forma actual, favorece respuestas redundantes o descriptivas. Para maximizar la validez discriminante, podría reformularse: "Critically evaluate the feasibility and sustainability of your solution considering constraints (resources, knowledge, ethics)."

5. Valoración global del instrumento

- El instrumento, en general, es: ( ) Muy adecuado (X) Adecuado
( ) Poco adecuado ( ) Inadecuado

Recomendaciones generales

El instrumento "The New River: Linking Chemistry, Society, and the Importance of Clear Names" presenta una estructura coherente, innovadora y contextualizada, orientada a reconocer habilidades iniciales de indagación científica en estudiantes de secundaria a partir de un problema ambiental real. Su principal fortaleza radica en la integración de dimensiones científicas, sociales y éticas, lo que favorece una comprensión situada de la química inorgánica y de la función comunicativa de la nomenclatura en contextos de sostenibilidad. No obstante, se observa la necesidad de afinar la precisión semántica y la discriminación cognitiva entre los ítems, ya que algunos de ellos tienden a la redundancia o permiten respuestas narrativas más que explicativas. Asimismo, sería pertinente incorporar indicadores explícitos de razonamiento causal, control de variables y modelización, para reforzar la validez de constructo vinculada a la competencia de indagación científica. En términos psicométricos, el instrumento evidencia alta validez de contenido y relevancia didáctica, pero requiere ajustes en su redacción y estructura para optimizar su claridad y coherencia interna. En conjunto, constituye una propuesta metodológicamente sólida, con un excelente potencial para diagnosticar y promover el pensamiento científico en la enseñanza de la química contextualizada.