

Título: Recopilación y análisis de datos e interpretación de resultados aplicados a la calidad del aire y sus consecuencias.

Resumen

La presente investigación en acción tuvo como objetivo principal fortalecer las competencias científicas de estudiantes de décimo grado en el curso de Biología, específicamente en las áreas de recopilación, análisis e interpretación de datos, aplicadas al tema ambiental de la calidad del aire y sus consecuencias. El estudio respondió a la necesidad identificada en la Escuela Luis Muñoz Marín de Yabucoa, donde se observaban deficiencias marcadas en el dominio de estas destrezas, así como una baja motivación hacia temas científicos y ambientales.

El enfoque metodológico fue cuantitativo, dentro de un diseño de investigación en acción basado en el modelo de John Elliot (2010), que propone un ciclo reflexivo de planificación, intervención, observación y ajuste. El plan de acción incluyó actividades prácticas de indagación científica como el uso de sensores “PurpleAir”, análisis de partículas con placas petri, construcción de gráficas y creación de afiches informativos. Para evaluar el impacto de la intervención, se aplicaron instrumentos de pre y pos prueba compuestos por ítems relacionados con componentes del aire, interpretación de datos y análisis gráfico. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva e inferencial, específicamente la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

Los hallazgos revelaron una diferencia significativa en el desempeño de los estudiantes: la media de la preprueba fue de 6.0, mientras que en la posprueba alcanzó 13.38, con un valor de significancia de $p < .001$, lo que confirma la efectividad del enfoque didáctico implementado. Asimismo, se observó una mayor participación, interés y comprensión crítica del fenómeno

ambiental estudiado. Este trabajo evidencia el valor de integrar metodologías activas, tecnología educativa y problemas reales del entorno en la enseñanza de las ciencias, promoviendo tanto la alfabetización científica como una ciudadanía más consciente y comprometida.

Introducción

En la actualidad, el desarrollo de competencias científicas en el estudiantado es una prioridad global para la educación del siglo XXI, especialmente en contextos donde los desafíos ambientales requieren ciudadanos informados, críticos y comprometidos. Una de estas competencias fundamentales es la capacidad para recopilar, analizar e interpretar datos, la cual constituye la base del método científico y del pensamiento crítico. Sin embargo, investigaciones recientes señalan que estas habilidades están poco desarrolladas entre los estudiantes de escuela secundaria, lo cual compromete no solo su rendimiento académico, sino también su alfabetización científica y su participación activa en la sociedad (Flick, 2018; Orjuela, Gallardo & Gómez, 2021).

Esta situación se observó con particular claridad en la Escuela Luis Muñoz Marín de Yabucoa, donde estudiantes de décimo grado del curso de Biología demostraron serias dificultades para dominar estas destrezas. Entre los errores frecuentes se destacaron: la elección inapropiada de métodos para la recopilación de datos, el uso deficiente de instrumentos tecnológicos, una pobre interpretación de la información recogida y una limitada capacidad para establecer conexiones entre los datos y sus implicaciones científicas o sociales. A esto se suma un desinterés preocupante hacia temas ambientales como la calidad del aire, lo cual es particularmente alarmante si se considera que, según la Organización Mundial de la Salud (2021), la contaminación atmosférica causa más de siete millones de muertes prematuras al año.

La investigación que se realizó se sustentó en un conjunto de conceptos clave que guían su estructura metodológica y pedagógica: alfabetización científica, actitudes hacia la ciencia, recopilación y análisis de datos, contaminación del aire, y educación ambiental crítica. Estos conceptos no solo se abordaron en términos teóricos, sino que se aplicaron de forma práctica en el aula mediante actividades de indagación, análisis de datos reales y construcción de productos científicos (gráficas, informes, afiches). La alfabetización científica, entendida como la capacidad para comprender el carácter de la ciencia, interpretar datos y tomar decisiones fundamentadas en evidencia (Wenning, 2008), es el eje transversal del proyecto. A su vez, las actitudes hacia la ciencia, como el interés, la motivación y la percepción del estudiante sobre su utilidad, han demostrado ser determinantes en el logro de aprendizajes significativos (Bravo-Vick et al., 2019). Asimismo, se incluyó el uso de instrumentos científicos accesibles como los sensores de aire “PurpleAir” y el análisis de datos en tiempo real, lo cual permitió a los estudiantes aplicar conceptos de ciencia en situaciones reales, comprender la dimensión social y ambiental de los problemas, y desarrollar habilidades de pensamiento computacional y matemático (Orjuela et al., 2021).

El diseño de esta investigación se fundamentó en los postulados de la investigación en acción, tal como lo plantea John Elliot (2010), quien defiende que los docentes deben convertirse en investigadores de su propia práctica para lograr una mejora genuina en la educación. Según Elliot, esta metodología permite interpretar los fenómenos educativos desde la experiencia directa del aula, generando soluciones pertinentes y contextualizadas. Autores como Kemmis y McTaggart (2000) y McNiff (2013) también resaltan el valor reflexivo, participativo y transformador de la investigación acción, que combina el rigor metodológico con el compromiso ético del educador-investigador.

En términos de aplicación pedagógica, esta investigación adopta los principios del aprendizaje basado en la indagación (ABI), el cual promueve la construcción activa del conocimiento a partir de preguntas significativas, observaciones sistemáticas y análisis de evidencias (Martínez & Gómez, 2021). Esta metodología ha demostrado ser efectiva para fomentar el pensamiento crítico y la comprensión profunda de los fenómenos científicos, especialmente cuando se vincula con problemas reales como la contaminación ambiental.

El abordaje de la calidad del aire como eje temático responde a la necesidad de vincular la enseñanza de la ciencia con situaciones de impacto real en la vida de los estudiantes. La contaminación del aire es un problema global y local con múltiples dimensiones: afecta la salud humana, altera los ecosistemas y representa un desafío para las políticas públicas. En el contexto escolar, este tema ofrece una excelente oportunidad para desarrollar investigaciones interdisciplinarias que integren biología, química, física, matemáticas, ciudadanía y tecnología. Diversas investigaciones (EPA; WHO, 2021) advierten que la exposición a aire contaminado en entornos educativos tiene consecuencias directas en la salud y el rendimiento académico. No obstante, la educación sobre este tema sigue siendo limitada en el currículo escolar, y el desinterés del alumnado evidencia una desconexión entre la enseñanza tradicional de las ciencias y los problemas que enfrentan en su entorno.

Por ello, en esta investigación se implementó un plan de acción pedagógico basado en la práctica científica auténtica, en el que los estudiantes pudieron experimentar el proceso completo de la investigación científica: desde la formulación de preguntas, pasando por la recopilación y análisis de datos, hasta la presentación de resultados. Las actividades fueron diseñadas para

fomentar la participación activa, el trabajo colaborativo, la alfabetización digital y la conciencia ambiental.

La elección de la investigación en acción como metodología respondió a la intención de transformar la práctica educativa desde dentro. Este enfoque permitió identificar debilidades reales en el proceso de enseñanza-aprendizaje, intervenir con estrategias innovadoras y evaluar los resultados de manera continua. Se buscaba que el docente no solo transmita conocimientos, sino que se convierta en un agente de cambio que acompaña al estudiante en su proceso de construcción de sentido y de toma de conciencia sobre su entorno. Además, este tipo de investigación contribuye a cerrar la brecha entre teoría y práctica, permitiendo la creación de conocimiento pedagógico contextualizado, útil tanto para la mejora institucional como para la formación profesional del docente. El impacto esperado no se limita al aprendizaje de contenidos, sino a la transformación de las percepciones que los estudiantes tienen sobre la ciencia, su rol como ciudadanos y su capacidad de incidir en su realidad.

Planteamiento del problema

En el ámbito académico y profesional, la capacidad para recopilar datos de manera efectiva y analizarlos correctamente es una competencia esencial para la generación de conocimiento válido y confiable. Sin embargo, se observó que un número considerable de estudiantes de décimo grado del curso de Biología de la Escuela Luis Muñoz Marín del pueblo de Yabucoa, presentaban deficiencias significativas en el dominio de estas destrezas. La falta de habilidades en la recopilación de datos se refleja en la selección inadecuada de métodos, errores en la obtención de información, y un manejo deficiente de las herramientas tecnológicas disponibles para este propósito. Asimismo, el análisis de los datos recopilados suele carecer de rigor metodológico, lo

que limita la calidad de las interpretaciones y la validez de las conclusiones obtenidas (Flick, 2018).

Estas debilidades impactan directamente en la calidad de los proyectos de investigación, reducen la capacidad crítica y analítica de los individuos, y dificultan la toma de decisiones basadas en evidencias científicas. Pese a la importancia de estas competencias, existe una brecha notable entre la teoría impartida y su aplicación práctica, indicando la necesidad de estrategias educativas más efectivas para fortalecer estas habilidades.

Se ha observado un escaso interés entre los estudiantes en temas relacionados con la calidad del aire y sus consecuencias en la salud pública y el ecosistema (World Health Organization [WHO], 2021). Esta falta de preocupación limita no solo la realización de investigaciones relevantes sobre el tema, sino también la formación de ciudadanos conscientes de la importancia de un ambiente saludable. Según la WHO (2021), la exposición a contaminantes atmosféricos es responsable de aproximadamente 7 millones de muertes prematuras cada año, situación que podría mitigarse en parte mediante la educación y el compromiso activo desde etapas tempranas de formación.

Es una realidad afirmar que entre el estudiantado se ha extendido una imagen negativa de las ciencias como una disciplina poco interesante, aburrida, complicada y alejada de la vida cotidiana. Esta tendencia quizás se deba a que la ciencia escolar no se adapta a las demandas del estudiantado (Golleiro, 2019). Así pues, la dificultad general se relaciona no solo con la falta de desarrollo de competencias científicas por parte del alumno, sino también con la falta de actitudes científicas. Es evidente que el dominio del recopilación y análisis de datos entre los estudiantes de escuela superior es un área que requiere atención y mejoras tanto en la dotación de recursos como en las estrategias pedagógicas empleadas. Fortalecer estas competencias es esencial para

preparar a los estudiantes para estudios avanzados y fomentar una cultura científica en la educación secundaria.

Es imperativo identificar las causas de esta deficiencia en la recopilación y análisis de datos, así como en el interés por temas ambientales críticos, comprender sus implicaciones en el ámbito académico y social, y proponer alternativas que permitan mejorar la formación de los estudiantes, asegurando así una preparación más sólida, crítica y responsable ante los retos contemporáneos.

Dificultades específicas

Orjuela, Gallardo & Gómez (2021) señalaron que, la aplicación del análisis de datos puede fortalecer habilidades clave en estudiantes de escuela superior, facilitando su comprensión y aplicación del método científico. Para llegar al análisis de datos primeramente necesitamos dominar la destreza de recopilación de datos en los estudiantes. Estos tienen que poner en práctica estrategias que les ayuden a desarrollar esas destrezas de recopilación de datos. Un ejemplo puede ser laboratorios cortos en donde el estudiante pueda reunir, organizar y analizar datos. Aun así, el análisis de datos es uno de los pasos que mayor se les dificulta a los estudiantes, ya que tienen que comprender que tendencias y patrones se observan en sus datos para generar conclusiones. Esto implica ir más allá de la simple acumulación de información y desarrollar habilidades para extraer conocimientos y patrones significativos a partir de los datos disponibles.

La calidad pobre de aire interior en las escuelas puede afectar la comodidad y la salud de los estudiantes y el personal, que a su vez puede afectar la concentración, la asistencia, y el rendimiento de los estudiantes (EPA). Lamentablemente los estudiantes tienen poco interés en torno a la calidad de aire y sus consecuencias. La contaminación atmosférica es un problema

mundial de gravedad. Así lo refleja la Organización Mundial de la Salud (OMS) que cifra en 4.2 millones de muertes al año como resultado de la exposición a contaminantes atmosféricos en ambientes exteriores. Los estudiantes pasan casi un tercio de su tiempo en las escuelas y garantizar que el aire que respiran es saludable debe ser una prioridad para todas las autoridades.

Asuntos específicos	Descripción
Falta de dominio en la destreza de recopilación de datos	Hay destrezas de recopilación y registro de datos que no se dominan, lo que no permite una comprensión adecuada a la investigación.
Falta de conocimiento para analizar datos e interpretar los resultados.	No se demuestra conocimiento en los datos recopilados para llegar a conclusiones.
Poco interés en torno a la calidad de aire y sus consecuencias.	No se demuestra la importancia de la calidad de aire y sus consecuencias en el sistema respiratorio.

Propósitos

En esta investigación en acción se deseaba:

- indagar en torno al nivel de conocimiento en la destreza de recopilación de datos, relacionados con la calidad del aire, de los estudiantes de 10mo grado en el curso de Biología;
- implementar un plan para acción con énfasis en recursos diversos para el desarrollo de conocimientos de analizar e interpretar los resultados, desde una perspectiva alternativa; y
- comparar el cambio en torno al nivel de conocimiento en la destreza de recopilación de datos, relacionados con la calidad del aire, de los estudiantes antes y después de la implementación del plan para acción.

Preguntas de investigación

A partir de los propósitos se establecieron las siguientes preguntas de investigación. Con estas se propició la recopilación de datos e información respecto a la acción para tratar de minimizar las dificultades específicas que se identificaron como parte del problema de investigación. Las preguntas son las siguientes:

1. ¿Qué nivel de conocimiento tienen los estudiantes de 10mo grado en el curso de Biología en torno a la destreza de recopilación de datos relacionados con la calidad del aire?
2. ¿Cómo debe implementarse el plan para acción para estudiantes de 10mo grado, con énfasis en recursos diversos para el desarrollo del conocimiento de analizar e interpretar los resultados, desde una perspectiva alternativa?
3. ¿Cómo cambia el nivel de conocimiento en la destreza de recopilación de datos, relacionados con la calidad del aire, de los estudiantes antes y después de la implementación del plan para acción?

Marco teórico

El aprendizaje activo en la enseñanza de las ciencias a nivel superior promueve la participación directa de los estudiantes en el proceso de construcción del conocimiento, reemplazando modelos tradicionales centrados en la transmisión de información por enfoques experienciales y reflexivos. Según Bonwell y Eison (1991), el aprendizaje activo involucra a los estudiantes en actividades como discutir, resolver problemas, experimentar y reflexionar sobre lo que hacen, lo que favorece una comprensión más profunda y duradera de los contenidos científicos. Esta metodología encuentra respaldo en la teoría del constructivismo de Piaget (1970) y en la zona de desarrollo próximo de Vygotsky (1978), que destacan la importancia de la interacción y la

actividad significativa en el aprendizaje. En el contexto de la educación superior, el aprendizaje activo también se alinea con los planteamientos de Freeman et al. (2014), quienes demostraron que estas estrategias mejoran el rendimiento académico en disciplinas STEM al fomentar habilidades críticas como la indagación, el razonamiento científico y la solución de problemas complejos.

Por otro lado, la investigación-acción representa una herramienta poderosa para transformar la práctica docente en la clase de ciencias, al permitir que los educadores analicen su quehacer pedagógico con una actitud crítica y reflexiva. Este enfoque, propuesto por Kurt Lewin (1946) y desarrollado posteriormente por autores como Carr y Kemmis (1986), se basa en un ciclo continuo de planificación, acción, observación y reflexión, que favorece la mejora continua del proceso educativo. En el contexto de la enseñanza de las ciencias, la investigación-acción permite adaptar estrategias didácticas basadas en la indagación científica, evaluar su impacto en el aprendizaje y rediseñar la práctica en función de evidencias empíricas. Así, se genera un ambiente de aula dinámico y adaptativo, donde tanto docentes como estudiantes asumen un rol activo en la generación de conocimiento, alineado con los principios del pensamiento científico y el desarrollo profesional docente (McNiff & Whitehead, 2006).

Método

En esta investigación en acción se utilizaron métodos cuantitativos para guiar la implementación de la acción y la recopilación de datos. La investigación con métodos cuantitativos, según Hernández et al. (2014), “se fundamenta en la medición (se miden las variables o conceptos contenidos en las hipótesis). Esta recopilación se llevó a cabo al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica” (p. 5). Estos autores

pusieron énfasis en que, si los datos son producto de mediciones, se representan mediante cifras y se analizan con métodos estadísticos.

Según Creswell (2014), el método cuantitativo se enfoca en la recopilación y análisis de datos numéricos para identificar patrones, establecer correlaciones y formular conclusiones objetivas sobre un fenómeno social o educativo. Se empleó para evaluar el impacto de una intervención específica, facilitando la toma de decisiones en evidencia empírica. En efecto, mediante la utilización de éste se esperaba demostrar el cambio en la destreza de recopilación de datos, el conocimiento para analizar datos e interpretar los resultados y que se mejorara significativamente el interés en torno a la calidad de aire y sus consecuencias.

Diseño

Respecto al diseño de investigación para la acción cabe destacar que, este interpreta lo que ocurre desde el punto de vista de quienes actúan e interactúan en la situación problema, por ejemplo, profesores y alumnos, profesores y director”. (Elliot, 2010). Por su parte John Elliot propone que los docentes no solo deben ser consumidores de la investigación, sino también participantes activos en la generación de conocimiento. Este enfoque se basa en la idea de que la forma de mejorar las prácticas educativas es que los propios docentes identifiquen problemas en la sala de clases, diseñen soluciones, implementen acciones y evalúen sus resultados de forma continua.

Se eligió el diseño de investigación en acción porque conlleva entender el oficio docente, integrando la reflexión y el trabajo intelectual en el análisis de las experiencias que se realizan, como un elemento esencial de lo que constituye la propia actividad educativa. Autores como Kemmis & McTaggart (2000) y McNiff (2013) coinciden en que este enfoque reflexivo y

participativo es una herramienta poderosa para mejorar la práctica educativa. A través de la investigación para la acción, los docentes se convierten en investigadores de su propia práctica, promoviendo una mejora continua en la enseñanza y, por ende, en los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

Modelo de investigación en acción

Para implementar la investigación para la acción se siguió el modelo de John Elliot (2010). En este modelo se centró en un enfoque práctico y reflexivo para mejorar la práctica educativa. Promueve la idea que los profesores, en su papel de investigadores, pueden transformar sus entornos educativos al identificar problemas en sus prácticas, diseñar e implementar estrategias para abordarlos, y reflexionar sobre los resultados para generar conocimiento que mejore sus acciones futuras. Se eligió este modelo de investigación en acción porque establece un proceso sistemático que busca mejorar la práctica educativa mediante una serie de ciclos recurrentes (Elliot, 2010). Las etapas del modelo son las siguientes: (1) identificación del problema y formulación de preguntas de investigación; (2) diseño del plan de acción; (3) implementación del plan de acción; (4) recopilación de datos; (5) análisis y reflexión de los resultados; (6) reformulación y ajuste del plan de acción; y (7) difusión de resultados.

En la primera etapa se identifica un problema o área a mejorar en el contexto educativo. Se identificó la carencia de las destrezas de recopilación de datos, el conocimiento para analizar datos e interpretar los resultados y el interés en torno a la calidad de aire y sus consecuencias. En la segunda etapa que es el diseño del plan de acción, es donde se desarrolla un plan detallado para abordar el problema que se ha identificado. En el mismo se establecieron las estrategias y métodos que se implementarán para mejorar la práctica educativa. Luego del diseño del plan se continuó

con la tercera etapa que es la implementación del plan de acción. En esta fase se centra en la aplicación práctica de las estrategias diseñadas. Durante la implementación se recopilaban datos para evaluar la eficiencia de las acciones implementadas, esto constituye la cuarta etapa. Una vez se han recopilado los datos, se realizó un análisis para evaluar el impacto de las acciones. Esta quinta etapa incluye una reflexión crítica sobre los resultados obtenidos y su relevancia para la práctica educativa. Con base en los hallazgos y reflexiones de la etapa anterior, se puede reformular, ajustar o modificar el plan de acción para un nuevo ciclo de investigación. Este proceso permite que la investigación acción sea un enfoque continuo permitiendo mejorar la práctica educativa. Finalmente, es importante compartir los hallazgos con la comunidad educativa para contribuir al conocimiento colectivo y fomentar una cultura de mejoramiento continuo. Esta séptima etapa es la de difusión de resultados que puede incluir la publicación de informes, presentaciones en conferencias y la colaboración con otros educadores. Este modelo proporciona un enfoque sistemático para un mejoramiento continuo.

Participantes/ Muestras

Para seleccionar los participantes de esta investigación se utilizaron un muestreo de conveniencia. Acorde con Creswell & Guetterman (2019), Gay et al. (2012) y Hernández et al., (2014), el muestreo por conveniencia se utiliza cuando se seleccionan la muestra por su disponibilidad y accesibilidad. Por su parte, Etikan, et al. (2016) mencionó que este muestreo es útil porque no requiere procedimientos complejos de selección. Así pues, se seleccionaron 26 estudiantes de décimo grado, matriculados en el curso de Biología.

Hay que destacar que, para efectos de cumplir con los aspectos éticos se solicitó el permiso a sus padres para que consientan la participación de sus hijos. Asimismo, se solicitó a los

estudiantes su asentimiento. Esto se realizó como parte de los requisitos para la protección de los seres humanos en la investigación.

Asentimiento y consentimiento de aquellos que no desean participar no se utilizaron los datos para el proceso de investigación.

Plan para acción

La capacidad para recopilar datos de manera efectiva y analizarlos correctamente es una competencia esencial para que los estudiantes puedan completar el proceso del método científico y un aprendizaje significativo. Estos presentan grandes dificultades en la recopilación y análisis de datos, así como la importancia de la calidad de aire y las consecuencias del mismo. Se diseñaron unas actividades prácticas que fueron realizadas por los estudiantes donde se dirigió la estrategia pedagógica con el fin de fortalecer las deficiencias mencionadas. Se utilizaron recursos didácticos, procesos de laboratorio, recursos tecnológicos y una plataforma de datos en tiempo real para lograr que los estudiantes comprendan la recopilación y análisis de datos de una manera efectiva. El maestro fue la persona encargada de dirigir la acción.

Luego de haber identificado el problema se procedió a diseñar una pre y pos prueba y las actividades realizadas por los estudiantes, las cuales consistieron en: (1) investigación literaria; (2) identificación de área con mayor contaminación; (3) comprobar el aire que recibimos en la escuela; (4) recopilación de datos en tiempo real; (5) análisis de datos y conclusiones; y (6) afiche informativo.

Se realizó un análisis de contenido y estadística descriptiva para realizar inferencias en torno al cambio en aprendizaje (dominio de destrezas; actitud) se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Como resultados o hallazgos esperados estuvo la comprensión de la recopilación y

análisis de datos. Además, se produjo la conexión entre los datos analizados y la importancia de la calidad de aire.

Tabla 1. *Estructura del plan para acción*

Dificultades	Contexto	Sujetos implicados	Acción específica	Recursos/ materiales	Persona encargada	Instrumento o técnica	Análisis	Resultados o hallazgos esperados
Falta de dominio en la destreza de recopilación de datos	Sala de clases	Estudiantes de 10º grado	Medición de conocimientos iniciales. Tarea de desempeño para recopilar datos	Recursos didácticos Guía para la tarea; materiales específicos para la recopilación de datos	Maestro	Prueba Corta (pre y pos) Hoja para trabajo 2, 3 y 4	Análisis de contenido y Estadística descriptiva. Estadística descriptiva	Comprensión de la recopilación y análisis de datos. Realización correcta de la recopilación de datos
Falta de conocimiento para analizar datos e interpretar los resultados.	Sala de clases	Estudiantes de 10º grado	Tarea de desempeño para realizar gráficas y análisis de datos por medio de preguntas dirigidas.	Guía para la tarea; materiales específicos para realizar gráficas y analizar los datos.	Maestro	Hoja para trabajo 5	Análisis de contenido y estadística descriptiva	Realización correcta de gráficas y análisis de datos
Poco interés en torno a la calidad de aire y sus consecuencias.	Sala de clases	Estudiantes de 10º grado	Enseñanza alterna: lectura explicativa Comprensión de calidad de aire y sus consecuencias	Lectura	Maestro	Preguntas de respuesta breve en Hoja para trabajo 1 Afiche	Análisis de contenido Análisis de contenido	Contestar correctamente la guía de preguntas dadas. Argumentación acerca de la experiencia de aprendizaje mediante las actividades del plan para acción.

Explicación de la acción

Las tareas de desempeño que fueron diseñadas van dirigidas a que los estudiantes puedan utilizar instrumentos y tecnología adecuada en una investigación científica con el fin de mejorar sus destrezas. Las actividades se trabajaron en grupos en donde cada miembro tuvo participación activa en la discusión de las mismas. Antes de la actividad #1 los estudiantes trabajaron en una actividad de preámbulo, lo cual consta de una investigación literaria en la que leyeron un texto seleccionado “El aire y su contaminación: Impacto en nuestra salud” con el propósito de que estos se nutran de información sobre la importancia de la calidad de aire y sus consecuencias. En ésta lectura encontraron información sobre los componentes, procesos del aire, causas, consecuencias de la contaminación del aire, impacto en la salud y como nosotros los ciudadanos podemos ayudar a mejorar la calidad de aire. Posteriormente respondieron una serie de preguntas de comprensión y análisis del material leído, se identificaron dificultades en los estudiantes, permitiendo ajustar la enseñanza en tiempo real.

En la actividad #1 los estudiantes fueron capaces de identificar y analizar los lugares dentro de su escuela donde es más probable encontrar aire contaminado, reconociendo las fuentes de contaminación y su impacto en la salud, para proponer medidas de mejora. Cada equipo de estudiantes identificó 3 áreas en la escuela que entiende son más susceptible a recibir aire contaminado (por ejemplo: estacionamientos, áreas de comedor, entradas principales, etc.). Las áreas escogidas por los estudiantes fueron identificadas con un color diferente para cada uno en un mapa con vista aérea de la escuela y seleccionaron las características de ese lugar que le hacen pensar que es el más susceptible a recibir aire contaminado.

Al tener varias áreas identificadas, la próxima actividad fue probar cual de esas áreas es la que recibe mayor cantidad de partículas aéreas para luego colocar el sensor. Para llevar a cabo la

actividad #2 los estudiantes fueron capaces de diseñar y llevar a cabo un experimento utilizando vaselina para atrapar partículas del aire en diferentes áreas de la escuela, analizando y comparando la cantidad de partículas recolectadas para identificar cuál área presenta mayor contaminación del aire. El estudiante cubrió con una capa fina de vaselina toda el área dentro de cada placa petri. Cada placa con vaselina fue pegada con tape en las 3 áreas que los estudiantes escogieron como susceptibles a recibir mayor contaminación de aire, durante un período de 3 días. Luego de recolectar las placas petri, los estudiantes hicieron un dibujo de la apariencia física de la vaselina dentro de la placa petri y anotaciones descriptivas sobre cantidad y tamaños de partículas, color, entre otras descripciones que pudieron observar de la vaselina en la placa petri. Finalmente analizaron de manera visual y escogieron el lugar de mayor contaminación por aire en donde se colocó el sensor “purple air”.

En la actividad #3 se instaló un sensor de calidad de aire en la escuela con el cuál los estudiantes recogieron datos sobre las medidas de partículas que llegan a su alrededor durante un período determinado, y luego analizaron e interpretaron estos datos para comprender el impacto de la calidad del aire en la salud pública y el medio ambiente. Los estudiantes estudiaron 3 sensores para comparar los datos, uno de los sensores era el de la escuela y los otros dos sensores fueron escogidos por los estudiantes en un área geográfica distinta, pero ubicados en Puerto Rico. Se escogieron 2 horas del día (AM y PM) en el que se recolectaron los datos de los sensores y fueron anotados en la hoja de trabajo. Los datos se recolectaron por un periodo de 5 días, en la mañana y en la tarde. Luego de pasados los 5 días, se analizaron los datos por medio de gráficas para llegar a conclusiones.

En cada investigación se debe llegar al paso de análisis de datos, es lo que se propone en la actividad #5 en donde el estudiante fue capaz de crear una gráfica de puntos a partir de los datos

recolectados, realizaron un análisis detallado de los datos presentados en las gráficas y formularon conclusiones basadas en la interpretación de los resultados, demostrando su comprensión de cómo representar, analizar e interpretar información cuantitativa de manera efectiva. Los estudiantes realizaron una gráfica por cada sensor analizado utilizando la variable de número de día en **X** y tamaño de partícula en **Y**, utilizando el programa de Excel. Luego se compararon las gráficas realizadas y contestaron una serie de preguntas dadas para redactar el análisis de datos. Finalmente redactaron una conclusión sobre los resultados encontrados e interpretación de datos.

Para completar el proceso de aprendizaje los estudiantes trabajaron en equipo para crear un afiche que presentó sus hallazgos y análisis sobre la calidad del aire en Puerto Rico, utilizando datos obtenidos de tres sensores ubicados en distintas áreas, divulgaron su afiche realizado a la comunidad escolar. A través de la ejecución por parte de los estudiantes de las actividades diseñadas se esperaba que estos profundizaran en los análisis de datos, mejoren su formación científica, perfeccionen sus destrezas de investigación y pudieran aplicarlas en distintos entornos y adquirieran un mayor conocimiento sobre la contaminación del aire, impacto en la salud y como nosotros los ciudadanos podemos ayudar a mejorar la calidad del mismo.

Tabla 1. *Explicación de la acción*

Actividades para la acción	Explicación de la actividad	Uso de los recursos	Tiempo de la intervención	Instrumentos, técnicas o guías	Momento de la recopilación	Tipo de información
Pre y Pos Prueba	• Auscultar el conocimiento previo de los estudiantes.	• Prueba impresa y hoja de respuestas.	• 1 sección de clase	• Anejo 1	• Antes y después del periodo de intervención.	• Conocimiento del proceso de recopilación de datos e interpretación de éstos.
Actividad de preámbulo	• Realizar investigación literaria para conocer sobre el tema de aire contaminado, sus consecuencias y efectos.	• Uso de una lectura sobre el aire para contestar unas preguntas de manera que puedan familiarizarse con los efectos y consecuencias del aire contaminado en la salud.	• 1 sección de clase	• Anejo 2 • Hoja de Trabajo 1	• Al final de la actividad de preámbulo.	• Conocimiento general del aire contaminado, fuentes, efectos y consecuencias.
Actividad #1 -	• Identificar en el mapa de la escuela 3 áreas susceptibles a recibir aire contaminado.	• Uso de visuales del mapa de la escuela, y explicación guiada de las características de las áreas seleccionadas.	• 1 sección de clase	• Anejo 3 • Hoja de Trabajo 2	• Al final de la actividad #1	• Identificación de características de un lugar susceptible a recibir aire contaminado.
Actividad #2 –	• Se utilizará las placas petri para comparar de manera visual las áreas identificadas y seleccionar el área que	• Uso de placas petri con vaselina para comparar en 3 días cuál de las áreas seleccionadas es la más susceptible a	• 2 secciones de clase - Preparación y colocación de placas petri	• Hoja de Trabajo 3	• Al final de la actividad #2	• Análisis visual de cantidad de aire contaminado recibido, de manera que puedan decidir donde colocar el sensor de aire de estudio.

Actividades para la acción	Explicación de la actividad	Uso de los recursos	Tiempo de la intervención	Instrumentos, técnicas o guías	Momento de la recopilación	Tipo de información
Actividad #3 –	recibe la mayor cantidad de aire contaminado. Recopilación de datos de las medidas de partículas que están presentes en el aire.	recibir aire contaminado y luego colocar el sensor para la recolección de datos a estudiar. Uso de la plataforma de “PurpleAir” para coleccionar datos en 2 periodos del día por 5 días.	- Recogido de placas pretri y análisis de datos. 10 minutos en cada sección de clase por 5 días en la mañana y en la tarde.	- Anejo 6 - Hoja de Trabajo 4	Al final de la actividad #3	Recopilación de datos dos veces al día (AM y PM) durante 5 días para los tres sensores. Se anotarán las tendencias que se observan en los datos.
Actividad #4 -	Con los datos recopilados construir gráficas para análisis y conclusiones con preguntas dadas.	Uso de papel cuadriculado para crear gráfica con los datos recopilados.	2 secciones de clases.	Hoja de Trabajo 5	Al final de la actividad #4	Creación de gráfica con datos recopilados, análisis de datos con preguntas dadas y generar conclusión.
Actividad #5 -	Diseñar un afiche que presente los hallazgos y análisis sobre la calidad del aire en el que comunicarán los resultados y conclusiones.	Cartulina y Hoja de Trabajo 5 para generar afiche.	3 secciones de clase - Preparación de afiche - Exhibición de afiche.	Guía de preparación de afiche.	Al final de la exhibición de afiche.	Expresiones acerca de la experiencia de aprendizaje.

Recopilación de datos

En esta investigación acción se empleó la observación directa para poder captar comportamientos y documentar los ajustes en las estrategias implementadas. Para evaluar el impacto de las estrategias a ser implantadas, se administró una pre y pos prueba con el fin de comparar las puntuaciones antes y después de la implementación de las estrategias pedagógicas. Se utilizaron actividades prácticas que permitan evaluar el conocimiento adquirido. Cada actividad fue calificada asignando puntuaciones numéricas las cuales fueron analizadas para determinar la efectividad de las estrategias implementadas. Se recopilaron datos cuantitativos a partir de las calificaciones obtenidas en las actividades.

Indagación para la acción: pre y pos medición

Se ha diseñado una pre y pos prueba para medir los cambios en el conocimiento de los estudiantes antes y después de la intervención. La pre prueba es una evaluación inicial que sirve para identificar las fortalezas y debilidades de los estudiantes antes de que comience el proceso de enseñanza aprendizaje. Por otro lado, la pos prueba se administró al final de la intervención pedagógica para medir el aprendizaje y las posibles modificaciones en las competencias de los estudiantes, como resultado de la intervención educativa.

Instrumento: cuestionario/prueba de aprovechamiento

Señala Martínez & Gómez (2021) que en una investigación acción, su implementación puede ayudar a los docentes a identificar brechas en el conocimiento de los estudiantes y diseñar intervenciones pedagógicas más efectivas. Esto me permitió comparar el progreso de los

estudiantes en su comprensión de la naturaleza de las ciencias y evaluar la efectividad de las actividades diseñadas.

Se diseñó una pre y pos prueba que está compuesta por un conjunto de ítems que exploran diferentes aspectos que están contenidos en las actividades diseñadas. Los elementos del instrumento están organizados en varias partes que permiten evaluar el progreso de los estudiantes y mejorar las estrategias de enseñanza. Al proporcionar una medición objetiva del conocimiento y las actitudes de los estudiantes antes y después de la intervención educativa, este tipo de evaluación contribuye significativamente a la mejora continua de la práctica pedagógica en la sala de clases.

Las partes de la pre y pos prueba incluyen: (1) Componentes del aire; (2) Instrumentos de medición y unidades de medidas; (3) Importancia de la calidad de aire; (4) Interpretación de datos; y (5) Análisis de gráficas. Los resultados de la pre y pos prueba se analizaron comparando el desempeño de los estudiantes en ambas pruebas. Las diferencias significativas entre los resultados indicaron el impacto de la intervención pedagógica en el aprendizaje y permite el realizar futuras modificaciones en la enseñanza.

Análisis de los datos

Para analizar los datos cuantitativos se utilizó estadísticas descriptivas. Mediante estas se resumen y organizan datos, con el fin de facilitar análisis específicos posteriores y determinar el cumplimiento de supuestos estadísticos (McMillan, 2016; Pardo & San Martín, 2010). Para este fin, se utilizaron las medidas de tendencia central, con las que se observó cómo los datos se organizan en torno al centro de la distribución. Luego, realizaron las medidas de variabilidad para observar cómo de distribuyeron los datos respecto al centro.

Para realizar inferencias en torno al cambio en aprendizaje (dominio de destrezas; actitud) se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Esta se utiliza para tomar decisiones acerca del centro de una variable, cuando no se cumple con el supuesto de normalidad (Pardo & San Martín, 2010). Según estos autores, con esta prueba se comparan las medianas de dos variables numéricas dependientes o relacionadas. En efecto, se verifica estadísticamente si hay diferencia entre el centro de cada variable.

Análisis estadísticos de resultados

Tabla 1: Estadísticas descriptivas

Descriptive Statistics											
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.	Variance	Skewness	Kurtosis			
					Std.				Std.		Std.
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Error	Statistic	Statistic	Statistic	Error	Statistic	Error
PRE	26	2	15	6.00	.568	2.898	8.400	1.250	.456	2.369	.887
POS	26	11	15	13.38	.261	1.329	1.766	-.119	.456	-1.144	.887
Valid N (listwise)	26										

Se administró una preprueba y una posprueba a un total de 26 estudiante. En cuanto a las estadísticas descriptivas, la puntuación mínima obtenida en la preprueba fue de 2, mientras que en la posprueba fue de 11. La puntuación máxima para ambas preprueba y posprueba fue de 15. El promedio (media) de la preprueba fue de 6, y en la posprueba aumentó a 13.38, lo cual sugiere una mejora en el desempeño de los estudiantes luego de la intervención. La desviación estándar fue de 2.898 para la preprueba y de 1.329 para la posprueba, indicando que las puntuaciones estuvieron un poco más concentradas alrededor del promedio en la segunda medición. El error estándar de la media también fue ligeramente menor en la posprueba (0.261) que en la preprueba (0.568), lo que

refuerza la precisión de los promedios reportados. En cuanto a la forma de la distribución, la preprueba presentó una asimetría positiva (1.250) y una curtosis positiva (2.369), mientras que la posprueba mostró una asimetría ligeramente negativa (-0.119) y una curtosis negativa (-1.144), lo que indica que los valores de los datos están menos concentrados alrededor de la media y hay más valores atípicos.

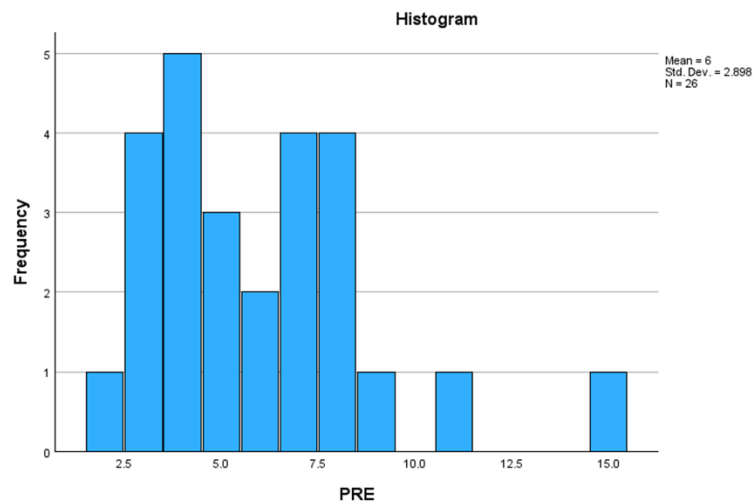
Tabla 2. Pruebas de Normalidad

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PRE	.140	26	.200*	.900	26	.016
POS	.196	26	.012	.879	26	.005
*. This is a lower bound of the true significance.						
a. Lilliefors Significance Correction						

Dado que la muestra válida fue menor de 30 estudiantes, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las distribuciones. En la preprueba, la estadística fue de 0.900 con 26 grados de libertad (gl) y un valor de significancia de $p = .016$, lo que indica que los datos siguen una distribución aproximadamente normal. En la posprueba, la estadística fue de 0.879 con 26 gl y $p = .005$, por lo que se concluye que los datos siguen una distribución normal. Esto debe tenerse en cuenta al seleccionar las pruebas estadísticas para comparar los resultados antes y después de la intervención.

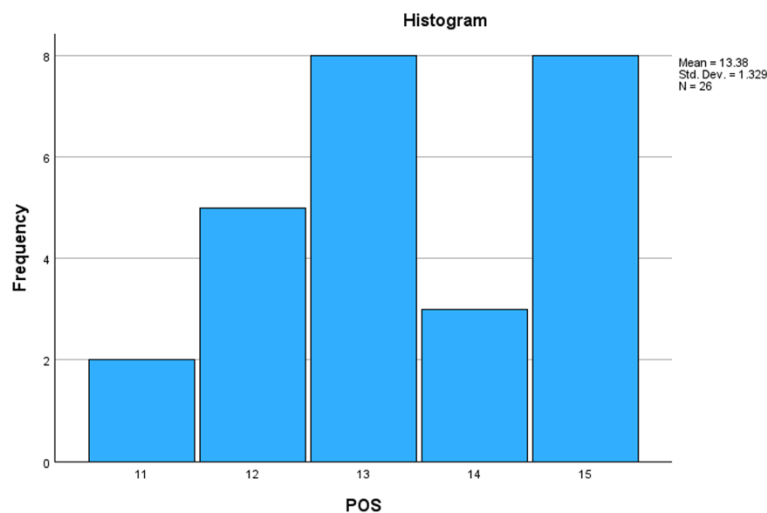
Los siguientes gráficos muestran la distribución de puntuaciones obtenidas por 26 participantes en una preprueba y una posprueba.

Gráfica 1. Histograma para la preprueba (eje de x son las puntuaciones y el eje de y es la frecuencia de esas puntuaciones)



En la Gráfica 1, correspondiente a la preprueba, la media fue de 6 con una desviación estándar de 2.898. Las puntuaciones estuvieron más concentradas entre 3 a 8 puntos.

Gráfica 2. Histograma para la posprueba (eje de x son las puntuaciones y el eje de y es la frecuencia de esas puntuaciones)



En la Gráfica 2, correspondiente a la posprueba, se observa un aumento en la media, alcanzando 13.38, con una desviación estándar de 1.329. Las puntuaciones se desplazaron hacia la derecha, indicando una mejora en el desempeño tras la intervención. Esto sugiere que los participantes lograron mejores resultados en la posprueba en comparación con la preprueba.

Para el análisis inferencial se consideró que, dado a que los resultados de la preprueba y la posprueba discrepan en normalidad y la muestra es menor de 30, no se cumple el supuesto de normalidad necesario para aplicar pruebas paramétricas relacionadas. Por ello, se optó por la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para muestras pareadas, la cual es adecuada en este caso porque: a) no requiere que los datos sigan una distribución normal, b) considera la dependencia intrínseca entre los puntajes de los mismos estudiantes antes y después de la intervención, y c) funciona correctamente con tamaños de muestra menores de 30. Con esta prueba se evaluó si existe un cambio estadísticamente significativo en las puntuaciones medianas entre ambas mediciones, garantizando la validez de los resultados inferenciales.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de la prueba no paramétrica de muestras pareadas y rangos señalados de Wilcoxon

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
POS - PRE	Negative Ranks	0 ^a	.00	.00
	Positive Ranks	25 ^b	13.00	325.00
	Ties	1 ^c		
	Total	26		

Según los resultados mostrados en la Tabla 3, no hubo estudiantes que obtuvieran una puntuación menor en la posprueba que en la preprueba (rango negativo. Por otro lado, 25 estudiantes obtuvieron una puntuación mayor en la posprueba que en la preprueba (rango positivo),

con un promedio de rango de 13 y una sumatoria total de 325.00. Se registro un solo estudiante que obtuvo la misma puntuación en ambas pruebas. Estos resultados indican una tendencia general al aumento en las puntuaciones de la posprueba, lo cual sugiere una mejora significativa en el desempeño de los estudiantes después de la intervención o tratamiento aplicado.

Tabla 4. Estadística inferencial de la prueba Wilcoxon (para la prueba completa y para sus subescalas)

Test Statistics ^a	
	POS - PRE
Z	-4.385 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	<.001

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

En la tabla 4 se reporta una puntuación Z de -4.385 y un valor de significancia de $< .001$, el cual es menor que el nivel alfa establecido de .05. Esto indica que los resultados son estadísticamente significativos. Por lo tanto, se concluye que hubo diferencias significativas entre las puntuaciones de la preprueba y la posprueba luego de implementar las actividades del tratamiento. Estos hallazgos sugieren que las estrategias aplicadas en el salón de clases tuvieron un efecto positivo en el desempeño de los estudiantes. Esto podría atribuirse al diseño de las lecciones, el enfoque participativo o el tipo de experiencias ofrecidas, tal como respalda la literatura revisada en el marco teórico.

Conclusión

Los resultados de esta investigación en acción evidencian de manera significativa el impacto positivo que tienen las estrategias didácticas basadas en el aprendizaje activo y la

indagación científica sobre el desarrollo de competencias científicas en estudiantes de nivel superior. Por lo observado en los resultados de la prueba estadística inferencial se puede concluir que **hubo diferencias significativas** en las habilidades de recopilación, análisis e interpretación de datos, en los estudiantes luego de las actividades que se llevaron a cabo en clase como parte de su investigación en acción. En particular, la propuesta implementada permitió mejorar notablemente las habilidades de recopilación, análisis e interpretación de datos, así como despertar un mayor interés por temas ambientales relevantes como la calidad del aire. Este hallazgo resulta especialmente importante si se considera que, según la OMS (2021), la contaminación del aire es responsable de más de 7 millones de muertes prematuras al año, lo que subraya la necesidad urgente de promover una educación científica contextualizada, crítica y orientada a la acción social.

El análisis estadístico de los resultados reveló un aumento sustancial en el rendimiento académico de los estudiantes tras la intervención. La media de la preprueba fue de 6.0, mientras que en la posprueba se elevó a 13.38, lo que refleja un cambio positivo en el nivel de dominio de las destrezas científicas evaluadas. La prueba no paramétrica de Wilcoxon arrojó un valor de significancia menor a 0.001 ($Z = -4.385$), indicando que las diferencias entre las pruebas fueron estadísticamente significativas. Este incremento no solo puede atribuirse al contenido impartido, sino también al enfoque metodológico adoptado, que situó al estudiante como protagonista del proceso de aprendizaje. Tal como argumentan Bonwell y Eison (1991), el aprendizaje activo fomenta una mayor retención del conocimiento y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico al involucrar a los estudiantes en tareas auténticas y significativas.

Asimismo, la elección de un enfoque de investigación en acción, inspirado en los postulados de Elliot (2010), permitió que el docente se convirtiera en un agente reflexivo del cambio, capaz de identificar necesidades reales en el aula, diseñar intervenciones pertinentes y evaluar su impacto en tiempo real. Esta metodología no solo mejora la práctica educativa, sino que fortalece el vínculo entre teoría y acción, algo que autores como Carr y Kemmis (1986) consideran esencial para una transformación educativa auténtica y sostenible. Además, el uso de tecnologías accesibles, como los sensores de aire “PurpleAir”, facilitó el análisis de datos reales en contextos significativos, promoviendo la alfabetización científica y digital, y permitiendo a los estudiantes aplicar el método científico en situaciones de la vida cotidiana.

La investigación también logró incidir en las actitudes del alumnado hacia la ciencia, históricamente percibida como una disciplina distante, complicada o irrelevante (Golleiro, 2019). La participación activa en el análisis de problemas reales del entorno, como la contaminación del aire en su propia escuela, permitió resignificar el valor de la ciencia como herramienta para comprender y transformar el mundo. En este sentido, se observó un cambio cualitativo en el nivel de motivación e interés de los estudiantes, lo que se evidenció en la calidad de los productos elaborados (gráficas, análisis y afiches) y en su disposición para compartir sus hallazgos con la comunidad escolar.

En conclusión, esta investigación confirma que una enseñanza de las ciencias basada en la indagación, el trabajo colaborativo y el uso de tecnologías accesibles puede mejorar de forma efectiva tanto las habilidades científicas como las actitudes hacia la ciencia en estudiantes de escuela superior. Además, refuerza la importancia del rol del docente-investigador como eje de innovación pedagógica. Estos hallazgos son un llamado a rediseñar las prácticas educativas

tradicionales y adoptar enfoques más dinámicos, integradores y críticos, que preparen al estudiantado no solo para aprobar exámenes, sino para convertirse en ciudadanos informados, responsables y comprometidos con los desafíos del siglo XXI.

Recomendaciones para futuras investigaciones

Algunas recomendaciones son: (1) realizar investigaciones longitudinales que evalúen el impacto sostenido de estas estrategias pedagógicas en el desarrollo de habilidades científicas y actitudes hacia la ciencia. (2) Ampliar la aplicación de esta metodología a otras áreas científicas, como química, física o ciencias ambientales, para examinar la consistencia de los resultados en diferentes disciplinas. (3) Integrar herramientas digitales más avanzadas para el análisis de datos, lo cual podría fortalecer las competencias en pensamiento computacional y ciencia de datos entre los estudiantes. (4) Incluir la participación de docentes de otras materias en proyectos interdisciplinarios, para enriquecer la comprensión del fenómeno estudiado desde múltiples perspectivas.

Limitaciones

Esta investigación presentó algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, el tamaño de la muestra fue reducido (26 estudiantes), lo que limita la generalización de los hallazgos a poblaciones más amplias. En segundo lugar, la duración de la intervención fue relativamente corta, lo que impide observar efectos a largo plazo. Además, el uso exclusivo de instrumentos cuantitativos puede haber restringido la comprensión de aspectos cualitativos relevantes, como la evolución de las actitudes científicas o las percepciones personales del estudiantado. Finalmente, factores externos como la motivación individual o el contexto familiar no fueron controlados, aunque podrían haber influido en los resultados obtenidos.

Referencias

- Bravo-Vick, D., Pineda, M., & Soto, M. (2019). *Inventario de actitudes hacia las ciencias: Diseño y validación en estudiantes de secundaria*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 16(1), 1101–1112.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1101
- Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). *Active learning: Creating excitement in the classroom* (ASHE-ERIC Higher Education Report No. 1). The George Washington University.
- Carr, W., & Kemmis, S. (1986). *Becoming critical: Education, knowledge and action research*. Routledge.
- Creswell, J. W., & Guetterman, T. C. (2019). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research* (6th ed.). Pearson.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.) SAGE Publications.
- Departamento de Educación de Puerto Rico. (2023). Transformación del sistema educativo de Puerto Rico. Recuperado de ed.gov
- Ecologistas en Acción.** (2024). *Calidad del aire en entornos educativos*.
<https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2024/05/calidad-aire-entornos-educativos-2024.pdf>
- Elliot, J. (2010). *La investigación-acción*. (6^a ed.) Morata.
- Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). *Comparison of convenience sampling and purposive sampling*. American Journal of Theoretical and Applied Statistics, 5(1), 1-4.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Flick, U. (2018). *An Introduction to Qualitative Research* (6th ed.). SAGE Publications.
- Gay, L. R., Mills, G. E., & Airasian, P. W. (2012). *Educational research: Competencies for analysis and applications* (10th ed.). Pearson.
- Golleiro, R. (2019). *Estrategias para la enseñanza práctica en ciencias: El microscopio como herramienta educativa*. Ediciones Académicas.

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ta ed.). México: McGraw Hill.

Herreras, E. B. (2004). La docencia a través de la investigación-acción. *Revista iberoamericana de educación*, 35(1), 1-9.

Kemmis, S., & McTaggart, R. (2000). *Participatory action research*. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (2nd ed., pp. 567–605). SAGE Publications.

Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34–46.

Martínez, A., & Gómez, C. (2021). Evaluación de la alfabetización científica mediante indagación en estudiantes de secundaria. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 23(1), 145–160.

McMillan, J. H. (2016). Fundamentals for educational research (7th ed.) Allyn and Bacon.

McNiff, J., & Whitehead, J. (2006). *All you need to know about action research*. SAGE Publications.

McNiff, J., & Whitehead, J. (2002). *Action Research: Principles and Practice*. Routledge.

Orjuela-Abril, J. L., Gallardo-Pérez, H. D. J., & Gómez-Vergel, C. S. (2021). El análisis de datos como estrategia para el desarrollo del pensamiento matemático y el pensamiento computacional. *Mundo FESC*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.22517/2462909X.23067>

Piaget, J. (1970). *Psychology and pedagogy*. Viking Press.

Pardo, A., & San Martín, R. (2010). *Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud II: Estadística no paramétrica*. Ediciones Síntesis.

Revistas UDENAR. (n.d.). Vista de Técnicas estadísticas en el análisis cuantitativo de datos. *Revista Sigma*. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rsigma/article/view/4905/5671>

United States Environmental Protection Agency (EPA). (s.f.). *Calidad del aire interior en las escuelas*. <https://espanol.epa.gov/cai/calidad-del-aire-interior-en-las-escuelas>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

World Health Organization. (2021). *Ambient air pollution: Health impacts*. Retrieved from <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>

Wenning, C. J. (2008). Assessing nature-of-science literacy as one component of scientific literacy. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5(2), 3–14.