

## **ABP-STEM: UNA ESTRATEGIA PEDAGÓGICA DE APRENDIZAJE BASADA EN EL TRATAMIENTO DE AGUA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

Este proyecto aporta al fortalecimiento del pensamiento crítico en educación secundaria, mediante una estrategia pedagógica activa que responde a la necesidad de mejorar la enseñanza en contextos reales y con pertinencia social.

“Este proyecto es innovador porque diseña una estrategia pedagógica innovadora, integrando ABP y STEM, para abordar de manera activa y contextualizada la temática del tratamiento de agua en la educación secundaria

Edgar Acevedo Aguilar

Adrián Augusto Pedrados Sepúlveda

<sup>1</sup> [edgaracevedo@usantotomas.edu.co](mailto:edgaracevedo@usantotomas.edu.co), <https://orcid.org/0009-0008-6082-7313>,  
[https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=3Te\\_MW4AAAAJ](https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=3Te_MW4AAAAJ),  
[https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001742348](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001742348)

<sup>2</sup> [adrianpedrados@usantotomas.edu.co](mailto:adrianpedrados@usantotomas.edu.co), <https://orcid.org/0009-0006-7885-0007?lang=es>,  
<https://scholar.google.com/citations?user=hlx1k4YAAAAJ&hl=es>,  
[https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001765569](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001765569)

2025

## Resumen

El ABP-STEM está orientado hacia el diseño y validación de una estrategia pedagógica para fomentar el pensamiento crítico en los alumnos de educación secundaria, tomando como hilo conductor el tratamiento del agua, en tanto que problema real y de relevancia social en el entorno local. Este proyecto combina el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con el enfoque STEM como forma de articular los conocimientos de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas en un proceso interdisciplinar y situado; partiendo del diagnóstico de las necesidades educativas y ambientales que había en Saravena, Arauca, se pudo establecer la importancia de atender el acceso a agua de calidad, a lo que se llega a través del diseño de actividades experimentales, colaborativas y reflexivas en las que los alumnos desarrollaron, evaluaron y mejoraron prototipos de filtración.

La metodología se desarrolla en cuatro etapas: la revisión teórica y pedagógica, la preparación de recursos y agentes implicados, el desarrollo de actividades guiadas y la validación de la propuesta mediante instrumentos revisados por expertos. Por otro lado, los resultados del panel de expertos corroboran que la propuesta tiene alta pertinencia pedagógica y un gran potencial formativo; destaca, además, su coherencia con el currículo, su enfoque contextual y la integración efectiva del pensamiento crítico a través de actividades STEM vinculadas al contexto, además, las observaciones de los expertos permitieron identificar aspectos susceptibles de mejora, sobre todo en la precisión de los procedimientos, la planificación temporal y la claridad de las orientaciones dirigidas al docente.

**Palabras clave:** Aprendizaje Basado en Proyectos, STEM, pensamiento crítico, tratamiento de agua, innovación pedagógica.

### **Abstract**

The ABP-STEM project aims to design and validate a pedagogical strategy to enhance critical thinking in secondary school students, focusing on water treatment as a real and socially relevant problem in the local context. The initiative combines Project-Based Learning (PBL) with the STEM approach, integrating knowledge from science, technology, engineering, and mathematics in an interdisciplinary and situated process. Based on a needs assessment of educational and environmental issues in Saravena, Arauca, the importance of addressing access to quality water was identified. This led to the structuring of experimental, collaborative, and reflective activities in which students developed, evaluated, and improved filtration prototypes.

The methodology is organized into four stages: theoretical and pedagogical review, preparation of resources and stakeholders, development of guided activities, and validation of the proposal using instruments reviewed by experts. Furthermore, the results of the expert panel show that the proposal has high pedagogical relevance and a solid formative potential, highlighting its coherence with the curriculum, its contextual approach and the effective integration of critical thinking through STEM activities linked to the environment. Similarly, the experts' observations allowed for the recognition of aspects susceptible to improvement, especially in the precision of the procedures, the time planning and the clarity of the guidelines directed to the teacher..

**Key words:** Project-Based Learning, STEM, Critical Thinking, Water Treatment, Pedagogical Innovation.

## Índice de Contenido

Introducción .....	10
Justificación.....	12
Preliminares: Delimitación del marco de trabajo para el abordaje de la realidad .....	14
Diagnóstico de la realidad .....	14
Identificación.....	14
Descripción.....	15
Formulación .....	16
Oportunidades de innovación / alternativas de solución .....	17
Alternativa 1: Aprendizaje Basado en problemas con enfoque STEM .....	17
Alternativa 2: Enfoque STEM mediante el Aula Invertida y prácticas guiadas.....	18
Alternativa 3: Gamificación de conceptos STEM relacionados con el agua .....	18
Alternativa seleccionada: Diseño y validación de una estrategia ABP-STEM sobre tratamiento de agua .....	19
Propósito y objetivos .....	21
Propósito.....	21
Objetivo general .....	21
Objetivos específicos.....	21
Matriz de medición de impacto educativo y social .....	22
Marco de referencia.....	23
Marco contextual.....	23
Revisión de estado del arte.....	23
Marco teórico .....	30
Enfoque constructivista del aprendizaje.....	31
El pensamiento crítico en educación secundaria .....	33



La educación STEM como enfoque pedagógico.....	36
Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP).....	39
Estrategias pedagógicas activas para el aprendizaje STEM.....	41
Conceptos STEM en el tratamiento de agua .....	41
Marco conceptual .....	44
El problema del Agua.....	44
ABP: El motor del aprendizaje.....	44
Enfoque STEM y las competencias del siglo XXI.....	45
Fortalecimiento del Pensamiento Crítico .....	46
Contexto Educativo .....	46
Marco legal y normativo .....	47
Marco metodológico .....	49
Categorización de la realidad a abordar .....	49
Enfoque de investigación .....	50
Tipo de investigación .....	52
Tipo de estudio.....	52
Técnicas de recolección .....	53
Procedimiento: fases o momentos definidos para desarrollar el proyecto .....	56
Producto o resultado esperado.....	58
Descripción de la población y muestra.....	59
Matriz de interesados o beneficiarios .....	61
Prospectiva de la Investigación: Propuesta de Implementación del Modelo a ser Validado .....	62
Fundamentación teórica .....	62
Diseño de la Estrategia Pedagógica ABP-STEM:.....	63
Resultados y análisis de resultados .....	71
Conclusiones .....	74

Visión prospectiva del proyecto .....	76
Consideraciones éticas .....	77
Referencias bibliográficas .....	79
ANEXOS.....	90

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Matriz de medición.....	22
<b>Tabla 2.</b> Matriz Marco Legal y Normativo.....	47
<b>Tabla 3.</b> Matriz de interesados o beneficiarios .....	61
<b>Tabla 4.</b> Componentes clave del modelo.....	62
<b>Tabla 5.</b> Recursos .....	65

### Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Diagrama Causa-Efecto de la Problemática Educativa Abordada.....	16
<b>Figura 2.</b> Categorías de Análisis .....	49
<b>Figura 3.</b> Mapa Mental .....	64
<b>Figura 4.</b> Nivel de Aceptación y Consenso entre Expertos por Ítem (Promedio $\pm$ DE).....	72
<b>Figura 5.</b> Promedio por dimensión.....	73
<b>Figura 6.</b> CVR por ítems con umbral crítico (0.60) .....	74

### Índice de anexos

<b>Anexo A.</b> Rúbrica de Validación Académica .....	90
<b>Anexo B.</b> Valores críticos de CVR según el número de expertos (Lawshe, 1975).....	94
<b>Anexo C.</b> Matriz de Criterios de Análisis .....	95
<b>Anexo D.</b> Rúbrica de Evaluación del Pensamiento Crítico .....	101
<b>Anexo E.</b> Lista de Cotejo para Observación de la Estrategia ABP-STEM.....	102
<b>Anexo F.</b> Ficha Técnica de Actividad.....	103
<b>Anexo G.</b> Formato de hoja de vida resumida.....	107



## Introducción

La educación secundaria del siglo XXI enfrenta el reto de ir más allá de los modelos pedagógicos tradicionales centrados en la mera transmisión de información y la memorización; y aunque estos tipos de enfoque resultan insuficientes para dotar a los jóvenes de las competencias integrales que exige un mundo complejo, interconectado y en constante cambio (Filgueira Arias, 2017). La persistencia de un rol estudiantil pasivo, la escasa articulación entre el currículo y las problemáticas reales del entorno, así como la falta de oportunidades para aplicar el conocimiento en situaciones significativas, pueden generar desmotivación y una formación deficiente para afrontar retos académicos, laborales y ciudadanos (Goulart, 2022).

En este contexto, el Pensamiento Crítico (PC) asume una función fundamental no sólo para enriquecer los procesos de enseñanza-aprendizaje STEM, sino también para dotar a los ciudadanos de saberes y capacidades para una serie de tareas como analizar objetivamente la información, ponderar los argumentos utilizados para resolver problemas, decidir en función de las evidencias y los criterios éticos que se pongan en juego (Facione, 2023) sino también para dotar a los ciudadanos de saberes y capacidades para una serie de tareas como analizar de forma objetiva la información, ponderar los argumentos utilizados para la resolución de problemas, determinar las condiciones que debe emprender ante las evidencias y los criterios éticos de los que se parte (Facione, 2023). Desde la perspectiva de Paul y Elder (2019), este modelo implica asociar los componentes del pensamiento (el propósito, las inferencias, la información) con estándares intelectuales (la claridad, la coherencia, la profundidad), y al mismo tiempo, Facione (2023) refuerza la importancia de articular las habilidades cognitivas específicas entre ellas, el análisis, la evaluación, la inferencia, pero también las disposiciones afectivas de la apertura intelectual, la curiosidad, la prudencia en la toma de decisiones.

De igual modo, y aunque existe un gran consenso conceptual con respecto al valor que tiene el PC, en el ámbito de la práctica educativa todavía abundan otros tipos de modelos que defienden la forma de enseñar centrada en la acumulación de contenidos y los tipos de evaluación memorística, lo que conlleva que la progresión de este tipo de competencias no avance; y si queremos limitar esta brecha, es necesario introducir metodologías activas como el ABP desde el propio enfoque STEM, ya que este tipo de metodologías activas introducen problemas que son la vida cotidiana, favorecen la indagación y permiten practicar de manera continua y contextualizada el pensamiento crítico. Desde aquí también podemos añadir que frente a los límites que la fragmentación disciplinar ha impuesto, el enfoque STEM cobra especial relevancia ya que, el STEM es el reflejo de cómo en la realidad los problemas complejos no

están limitados por las fronteras de las asignaturas. Esta idea también se puede encontrar en el MEN (2021, p. 284) o en (MinTIC, 2022).

A pesar de que el STEM se propone dos enseñanzas de las áreas por separado, sino, en este caso, lo que se pretende es una comprensión articulada del conocimiento, de las disciplinas a través de sus interacciones, para resolver situaciones reales del mundo actual, y para implementar esta manera de entender como interdisciplinar el aula se puede utilizar el Aprendizaje Basado en Proyectos como una estrategia potencial: plantea una pregunta guía, retadora, permite formular preguntas, favorece el trabajo colaborativo, exige realizar un producto final, y se trabaja sobre la reflexión metacognitiva (Larmer et al., 2015); asimismo, y al ubicar al estudiante como protagonista de su aprendizaje, el ABP no solo conecta los contenidos curriculares con problemáticas reales, sino que fortalece de manera constante el PC mediante el análisis, la evaluación de evidencias y la argumentación en cada etapa del proyecto.

Por lo tanto, esta investigación analiza la articulación entre el ABP y el enfoque STEM en un escenario de alta pertinencia local: el tratamiento del agua en Saravena, Arauca; ya que es una región donde solo el 76% del recurso hídrico cumple con los estándares de potabilidad (CUMARE E.S.P., 2020; IDEAM, 2022), es así que, el proyecto toma esta problemática socioambiental como punto de partida para integrar de manera auténtica las disciplinas STEM; y se espera, que a partir de este eje, los estudiantes exploren la composición química y los microorganismos presentes en el agua (Ciencia), utilicen herramientas de medición como el pH y la turbidez (Tecnología), diseñen y pongan a prueba filtros elaborados con materiales de fácil acceso (Ingeniería) y realicen análisis de datos sobre calidad y eficiencia (Matemáticas); de esa manera, esta articulación disciplinar demanda un uso continuo del pensamiento crítico, desde la valoración de la confiabilidad de las fuentes hasta la argumentación de decisiones de diseño y la interpretación de resultados, fortaleciendo tanto los aprendizajes disciplinares como las competencias necesarias para enfrentar retos complejos en sus comunidades (Capraro et al., 2013; Larmer et al., 2015).

En este sentido, el estudio tiene como finalidad crear y validar una estrategia de enseñanza con Aprendizaje Basado en Proyectos y en STEM orientada al desarrollo del pensamiento crítico en el alumnado de secundaria; se toma como núcleo problemático el tratamiento del agua, y además, se pretende validar, a partir de los juicios de los expertos validadores, la coherencia de la estrategia para favorecer habilidades propias del pensamiento crítico como el análisis, la toma de decisiones informada y la resolución de problemas en los estudiantes de séptimo grado de la I.T.C. José Eustasio Rivera. Como tal, para dar cumplimiento a estos objetivos, se adopta un enfoque principalmente cualitativo, coherente

con la necesidad de comprender en profundidad las dinámicas del proceso educativo en un contexto real, así como los matices de las percepciones estudiantiles, las interacciones y los desafíos propios de la implementación.

Teniendo en cuenta lo anterior, el documento se estructura presentando, en primera instancia, el diagnóstico de la situación educativa que origina la investigación y la justificación sustentada en evidencia; posteriormente, desarrolla el marco teórico y conceptual; luego describe la metodología diseñada para la intervención y el análisis de información; y finalmente expone los resultados esperados y las posibles contribuciones derivadas del estudio. En consecuencia, la relevancia del estudio recae en dar lugar al conocimiento aplicado y contextualizado de los riesgos y oportunidades que traen consigo llevar al aula estrategias de ABP-STEM en escenarios educativos reales, y si bien se pueden llegar a destacar los aportes de estos enfoques en ciertas investigaciones internacionales, todavía existe un vacío por cubrir en relación a la comprensión de cómo funcionan en la práctica y qué ajustes requieren en los contextos particulares de Colombia.

Por eso, los resultados del presente trabajo buscan aportar orientaciones para la práctica pedagógica en la institución participante y para la toma de decisiones curriculares, al ofrecer evidencia que contribuye al fortalecimiento de una educación secundaria más crítica y contextualizada. De igual manera, se aspira enriquecer el debate académico sobre la implementación realista y eficaz de metodologías activas como el ABP-STEM en esos escenarios diversos y con limitaciones de recursos ya sea en Colombia o en Latinoamérica. Desde esta perspectiva, nace la pregunta central que guía la presente investigación: ¿Qué elementos y etapas debe contener el modelo pedagógico que integre aprendizaje basado en problemas (ABP) y STEM para el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes de secundaria, según la revisión de literatura y la validación de expertos?

### **Justificación**

La pertinencia de esta investigación radica en la necesidad de avanzar conceptual y metodológicamente en la educación STEM en Colombia; teniendo en cuenta eso, organismos internacionales como la UNESCO (2017) presentan que las pedagogías activas son esenciales para el siglo XXI, y el Ministerio de Educación Nacional, a través de la Visión STEM+ (MEN, 2021), las Escuelas STEM+ (MEN, 2023) y la Ruta STEM (MinTIC, 2022), ha impulsado políticas sin ofrecer un protocolo claro para el diseño y validación de estas estrategias; por lo tanto, este estudio busca cerrar ese vacío al diseñar un modelo detallado y alineado con los lineamientos internacionales y nacionales.

Además, aunque el ABP demuestra su potencial para fortalecer el pensamiento crítico y articular las disciplinas STEM, persisten desafíos asociados a su planificación, recursos y evaluación (Capraro et al., 2013; Ertmer & Simons, 2006). Por ello, la investigación se enfoca en describir paso a paso el proceso de diseño: definición de objetivos de PC, selección de actividades, elaboración de rúbricas y en establecer indicadores cualitativos para validar su coherencia, factibilidad y pertinencia, garantizando que la estrategia pueda adaptarse a distintos contextos escolares. De igual manera, el tratamiento de agua se selecciona como eje temático por su relevancia socioambiental en Saravena, Arauca: sólo el 76% del agua cumple parámetros de potabilidad (IDEAM, 2022) y CUMARE E.S.P. (2020) reporta deficiencias en redes rurales; y este contexto auténtico incrementa la motivación estudiantil y permite integrar contenidos de química, biología, tecnología de medición, diseño de prototipos y análisis estadístico, enriqueciendo la validez del diseño y facilitando la conexión entre teoría y realidad local.

Por tanto, la pertinencia de esta investigación, enmarcada en el modelo educativo STEM, radica en la urgencia de diseñar y validar pedagogías activas como el ABP-STEM en la educación secundaria colombiana. A pesar de que se cuenta con evidencias que certifican cómo el ABP contribuye a promover el pensamiento crítico, la integración de las disciplinas que constituyen el ABP-STEM todavía existe un vacío saber sobre los procesos de diseño y validación del mismo. A partir del análisis cualitativo se investiga el funcionamiento de la propia estrategia, de forma que se genera un conocimiento situado que oriente la práctica docente, enriquezca el desarrollo curricular y alimente el debate académico de cómo llevar a cabo y validar metodologías activas en entornos STEM de forma factible.

En esta dirección, el ABP ofrece el marco contextual que se precisa, dado que plantea auténticos problemas del mundo real que pueden hacerse servir como anclajes del aprendizaje motivadores y organizadores, propiciando la indagación, la toma de decisiones y la generación de evidencias. Complementariamente, el enfoque STEM aporta las disciplinas, métodos y herramientas ya sean científicas, tecnológicas, de diseño e inferencia cuantitativa, que permiten abordar esos problemas de manera rigurosa y sistémica. Como tal, esa combinación produce una sinergia donde el ABP contextualiza la tarea y exige un pensamiento crítico por parte de los estudiantes y STEM suministra los contenidos y procedimientos para validar y optimizar las soluciones propuestas; esto favorece una perspectiva orientada a resolver diferentes problemas complejos, y sobre todo, ayuda a formar estudiantes críticos, creativos y competentes.

## **Preliminares: Delimitación del marco de trabajo para el abordaje de la realidad**

### **Diagnóstico de la realidad**

El diagnóstico de la realidad educativa en la I.T.C. José Eustasio Rivera muestra un aula de séptimo grado caracterizada por una dinámica centrada en la exposición docente y la memorización, con escasas oportunidades para la indagación y el trabajo colaborativo. La institución, con dotación de laboratorio y recursos tecnológicos limitados, atiende a una población diversa (urbanos y rurales) cuyo acceso a agua potable es un desafío tangible. Esta desconexión entre el currículo y las problemáticas locales genera desmotivación y limita el desarrollo de competencias del siglo XXI, en especial el pensamiento crítico. Por ello, es necesario diseñar una estrategia ABP-STEM que articule teoría y práctica en torno al tratamiento de agua

### **Identificación**

La presente investigación se desarrollará durante el año académico 2025 en la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera, un establecimiento público ubicado en el área urbana del municipio de Saravena, Arauca (Colombia). Esta institución atiende aproximadamente a 1.100 estudiantes distribuidos en los niveles de básica secundaria y media técnica, de los cuales un grupo de 35 alumnos de séptimo grado conforma la unidad de estudio; además de ello, la comunidad es heterogénea, pues incluye jóvenes procedentes tanto de la zona urbana como de veredas rurales aledañas.

Es importante precisar el alcance y la finalidad de la muestra seleccionada, en este caso, la mención de 35 estudiantes se presenta exclusivamente como un caso de estudio o población de referencia que ilustra la aplicabilidad y factibilidad de la estrategia en un contexto educativo real. Por lo tanto, el enfoque de esta investigación no es validar de manera generalizable la efectividad de la estrategia en todos los contextos, sino validar conceptualmente el modelo pedagógico mediante la evaluación y juicio de expertos en educación STEM y metodologías activas.

En ese sentido, el objeto del presente estudio se trata del diseño y validación académica de una estrategia pedagógica enfocada en el ABP – STEM, y cuyo eje temático central es el tratamiento del agua, por un lado, el STEM se materializa en las actividades relacionados con la química del agua, biología de microorganismos, medición de la tecnología, el diseño conceptual de prototipos de filtrado y el análisis de datos numéricos relacionados con la calidad del recurso hídrico. Por otro lado, el contexto de indagación

se centra en un aula de índole público que cuenta con recursos limitados, junto a un Proyecto Educativo Institucional que demanda que las prácticas educativas sean más activas y centradas en los estudiantes.

El alcance es institucional y conceptual. No se llevará a cabo una intervención tradicional ni un seguimiento longitudinal con los estudiantes, sino una validación en dos etapas: (1) revisión de documentos, cronograma y rúbricas por expertos y (2) retroalimentación técnica de expertos mediante revisión; con ello, se obtendrá un protocolo validado que oriente futuras implementaciones en contextos similares.

### **Descripción**

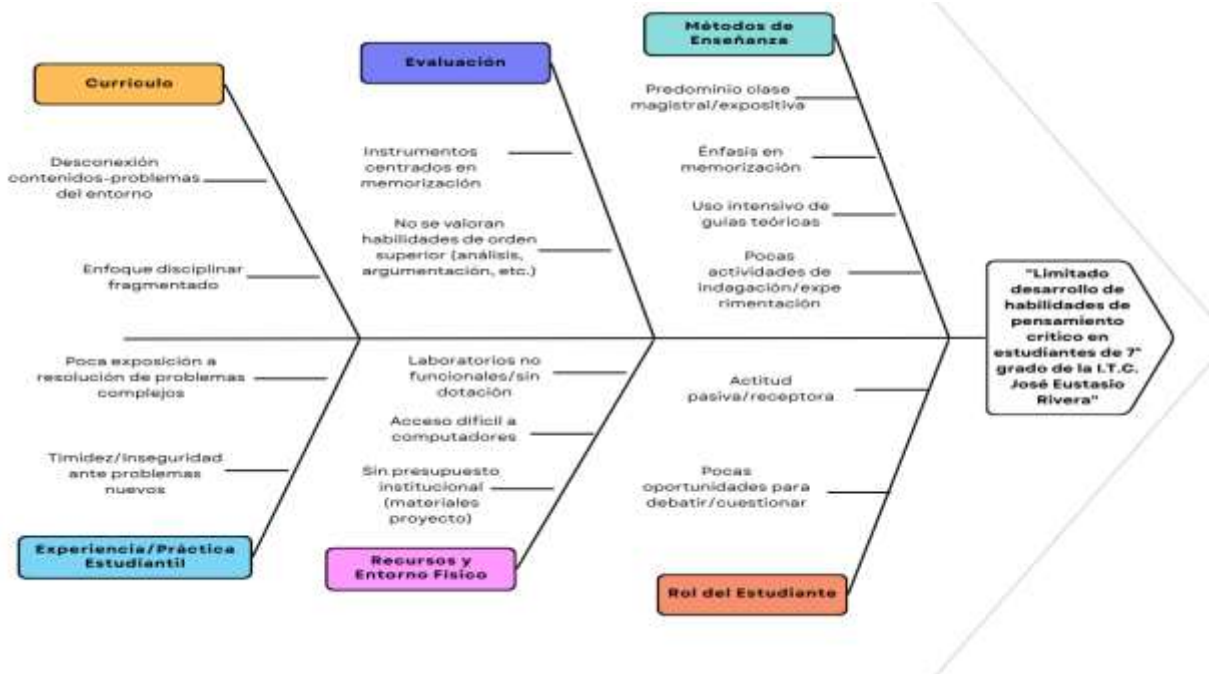
La Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera, situada en el área urbana de Saravena, Arauca (Colombia), atiende a unos 1.100 estudiantes en básica secundaria y media técnica. De ellos, un grupo intencionado de 35 alumnos de séptimo grado conforma la muestra de estudio; sus procedencias urbana y rural, y realidades socioeconómicas variadas representan la heterogeneidad del contexto.

El contexto educativo de la institución educativa sugiere una orientación pedagógica donde frecuentemente la dinámica de clase se apoya en la exposición docente y un rol estudiantil principalmente receptivo (toma de apuntes, escucha). Las actividades comunes derivadas de este enfoque incluyen guías de trabajo, lecciones teóricas y métodos de evaluación centrados en el recuerdo de información. Esta apreciación sobre la necesidad de enfoques más activos se ve respaldada por el propio Proyecto Educativo Institucional (PEI) (Institución Educativa José Eustasio Rivera, 2018), el cual reconoce una tendencia hacia prácticas que denomina "conductistas", expresa el deseo de avanzar hacia modelos más constructivistas mediante una Pedagogía Interestructurante, y subraya la relevancia de desarrollar metodologías didácticas que permitan un aumento en la implicación del estudiante.

Todas estas relaciones se sintetizan en el diagrama causa-efecto de la Figura 1, mostrando cómo los factores de "Currículo", "Recursos y entorno físico", "Métodos de enseñanza" y "Rol del estudiante" convergen en el limitado desarrollo de competencias del siglo XXI.



Figura 1. Diagrama Causa-Efecto de la Problemática Educativa Abordada, elaboración propia.



En este escenario, el reto del tratamiento de agua donde solo el 76% cumple estándares de potabilidad (IDEAM, 2022) y las redes rurales presentan deficiencias (CUMARE E.S.P., 2020) se convierte en un contexto auténtico para el diseño de una estrategia ABP-STEM. El diagrama nos ayuda a identificar cuáles aspectos, por ejemplo, actividades de indagación, recursos reutilizables o criterios de evaluación, deben contemplarse en la fase de diseño, y cuáles merecen atención especial a la hora de validar su pertinencia y factibilidad antes de una futura implementación.

### Formulación

Con base en el diagnóstico de la realidad educativa descrita, y considerando la urgencia de mejorar las prácticas pedagógicas para fomentar habilidades superiores, la presente investigación se orienta a responder la siguiente pregunta central:

¿De qué manera puede diseñarse y validarse una estrategia pedagógica ABP-STEM, centrada en el tratamiento de agua, para fortalecer habilidades de pensamiento crítico análisis, toma de decisiones fundamentadas y resolución de problemas en estudiantes de séptimo grado de la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera durante el año académico 2025?

### **Oportunidades de innovación / alternativas de solución**

Frente al diagnóstico de la realidad educativa descrita, que evidencia la necesidad de fomentar deliberadamente el pensamiento crítico mediante prácticas pedagógicas activas y contextualizadas en un entorno con recursos restringidos, se evaluaron tres metodologías compatibles con el enfoque STEM para guiar el proceso de diseño y futura validación de la estrategia.

#### **Alternativa 1: Aprendizaje Basado en problemas con enfoque STEM**

##### ***Descripción.***

El ABP orientado a STEM propone que los estudiantes trabajen colaborativamente para resolver un problema auténtico en este caso, la calidad y potabilidad del agua, mediante investigación y aplicación de conocimientos de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas.

##### ***Valoración para el diseño y validación.***

- Coherencia interna y estructura: El PBL facilita la definición de una secuencia de pasos muy clara (diagnóstico, plan de acción, validación de hipótesis, presentación de resultados), lo que favorece la elaboración de rúbricas alineadas con competencias de PC (análisis, inferencia, argumentación).
- Pertinencia de actividades: Al incidir desde el inicio en un problema real como los resultados de calidad entregados por IDEAM (2022) y CUMARE E.S.P. (2020) se garantiza una alta motivación. Para el diseño, esto significa que las actividades pueden integrarse con datos reales de mediciones de turbidez o pH, empleando instrumentos básicos.
- Recursos y factibilidad: Requiere recursos moderados: materiales para muestreo y análisis sencillo de agua, lo que resulta viable en un contexto de laboratorios básicos.
- Indicadores de validación: Se puede definir un conjunto de ítems de validez de contenido para evaluar la solidez de la secuencia y su factibilidad práctica en un taller simulado.
- Limitaciones para el enfoque ABP-STEM: Aunque el PBL promueve el PC, su alcance más acotado puede no integrar con la misma profundidad la dimensión de “E” (Ingeniería) y “T” (Tecnología) como un proyecto amplio; por lo tanto, para fortalecer la “E”, se propone enmarcar el ejercicio práctico en el ciclo de diseño de ingeniería (definir, investigar, diseñar, prototipar, probar y rediseñar), lo que aporta una estructura metodológica más rigurosa. Asimismo, el diseño podría compensar las limitaciones iniciales mediante microsesiones de prototipado que incrementen progresivamente la complejidad del diseño y fortalezcan la aplicación práctica de la tecnología.

## **Alternativa 2: Enfoque STEM mediante el Aula Invertida y prácticas guiadas**

### **Descripción.**

La modalidad de aula invertida desplaza el aprendizaje de contenidos conceptuales como la química del agua, la biología de los microorganismos y los fundamentos de la filtración hacia el trabajo autónomo mediante vídeos y lecturas, mientras que el tiempo presencial se dedica a actividades prácticas y experimentales orientadas al análisis del agua y a la elaboración inicial de filtros.

### ***Valoración para el diseño y validación.***

- **Coherencia interna y estructura:** Permite definir con precisión los materiales de preparación previa (módulos multimedia sobre contaminantes del agua) y el guion de prácticas en laboratorio. En el diseño, esto facilita la elaboración de guías paso a paso y rúbricas específicas para cada etapa.
- **Pertinencia de actividades:** Al concentrar la práctica en laboratorio, se asegura que los estudiantes apliquen inmediatamente los conceptos aprendidos para el desarrollo de PC.
- **Recursos y factibilidad:** Requiere acceso a dispositivos (tableta o celular) para contenidos digitales y un laboratorio mínimamente equipado. Dado el acceso intermitente a Internet en la I.T.C. José Eustasio Rivera, habría que diseñar materiales descargables o impresos, lo que añade complejidad al diseño.
- **Indicadores de validación:** Los criterios de evaluación pueden centrarse en la alineación entre los objetivos de aprendizaje, la calidad de la documentación previa y la ejecución de la práctica.
- **Limitaciones para el enfoque ABP-STEM:** Este enfoque reduce el protagonismo del estudiante en la definición del problema y la generación de ideas innovadoras. En el diseño, habría que incorporar fases adicionales de reflexión y toma de decisiones para equilibrar la guía docente.

## **Alternativa 3: Gamificación de conceptos STEM relacionados con el agua**

### ***Descripción.***

En este caso, la gamificación introduce distintos tipos de dinámicas de juego tales como sistemas de puntos, niveles y/o retos colaborativos, con el fin de enseñar y reforzar los distintos conceptos relacionados con el ciclo del agua, tipos de contaminantes y principios de filtración, para este enfoque, las actividades son implementadas de manera digital, ya sea, por medio de quiz interactivos o simuladores sencillos de la web, o incluso, por medio de actividades análogas tales como los juegos de roles o los tableros de desafíos.

*Valoración para el diseño y validación.*

- Coherencia interna y estructura: el diseño de elementos lúdicos exige definir mecánicas claras (recompensa por justificar una decisión de diseño) y su articulación con objetivos de PC; el reto reside en alinear la estructura de juego con habilidades analíticas y evaluativas, evitando la simple acumulación de puntos sin reflexión.
- Pertinencia de actividades: aumenta la motivación inicial, pero corre el riesgo de centrarse en componentes aislados del currículo si no se integra en un marco de proyecto; para el diseño, esto implica planificar momentos de desmontaje de la dinámica lúdica, donde los estudiantes reflexionen sobre el conocimiento aplicado.
- Recursos y factibilidad: la gamificación análoga (tarjetas de desafío, mapas de procesos de filtración) es viable con materiales reciclables; los componentes digitales exigirían dispositivos y conectividad.
- Indicadores de validación: el diseño incluirá instrumentos para medir engagement y transferencia de aprendizaje.
- Limitaciones para el enfoque ABP-STEM: Usada de forma aislada, puede fragmentar el aprendizaje y no ofrecer un contexto holístico para el PC en la resolución de un problema real. En el diseño, sería crucial integrar la gamificación como parte de un proyecto mayor, lo que complejiza la validación.

**Alternativa seleccionada: Diseño y validación de una estrategia ABP-STEM sobre tratamiento de agua**

Tras observar y evaluar las tres alternativas, y según su capacidad para demostrar la creación de un diseño pertinente y donde se definen criterios esclarecedores, se opta por diseñar y validar académicamente una estrategia pedagógica que integre el ABP junto a un enfoque STEM, el cual estará centrada en la problemática del tratamiento del agua. Por lo tanto, esta alternativa seleccionada se fundamenta en que la estrategia de ABP-STEM ofrece un marco sólido para poder abordar diferentes problemas reales, debido a que articula las cuatro disciplinas, así como influye en el desarrollo de las competencias del pensamiento crítico, un punto esencial que no es abarcado ampliamente por las dos otras alternativas.

En ese sentido, si bien la alternativa del Aula Invertida favorece el trabajo autónomo y el aprovechamiento del tiempo presencial para las actividades prácticas dirigidas para los estudiantes, no



garantiza por sí sola que sea un reto auténtico, por otro lado, la alternativa de la gamificación, aunque incrementa la motivación de los estudiantes por medio de los juegos interactivos, aun carece de un andamiaje sólido metodológico que integre de manera extensa las fases de indagación, diseño y validación, las cuales son características propias del enfoque STEM.

### *Justificación*

- **Contextualización real:** El uso del tratamiento de agua como tema eje conecta directamente con la experiencia de los estudiantes de Saravena, donde sólo el 76% del agua es apta para consumo (IDEAM, 2022) y la red rural presenta deficiencias (CUMARE E.S.P., 2020). En el diseño, esto se traduce en actividades que incluyan datos reales de medición, encuadren el proyecto en necesidades comunitarias y refuercen la relevancia educativa.
- **Integración auténtica de STEM:** A diferencia de las alternativas más parciales, el ABP-STEM permite planificar un proyecto extenso con fases de investigación (Ciencia), prototipado básico (Ingeniería), uso de herramientas sencillas (Tecnología) y análisis cuantitativo (Matemáticas). El diseño detallará cada fase, sus objetivos de PC y los recursos requeridos, favoreciendo la construcción de una rúbrica de validación que evalúe la calidad del prototipo, la argumentación y el uso del método científico.
- **Desarrollo integral de competencias:** El formato de proyecto fomenta no solo el PC (análisis, toma de decisiones fundamentadas, resolución de problemas) sino también colaboración, comunicación y creatividad. En el diseño, se especificarán roles colaborativos, momentos de debate estructurado y entregables finales que incluyan reflexión metacognitiva.
- **Potencial motivador y compromiso:** La conexión con un reto real de su entorno, sumada al desarrollo de un prototipo funcional de filtración, amplifica la motivación intrínseca. El diseño incorporará hitos de logro y autoevaluación guiada, instrumentos claves para evaluar en la validación la percepción de pertinencia y el grado de implicación de los estudiantes.
- **Viabilidad y adaptabilidad:** Prioriza materiales básicos o reciclados y fases de diseño colaborativo con docentes, respondiendo a la realidad de laboratorios y presupuestos limitados. El modelo incluye un taller simulado con profesores para validar en papel la factibilidad de cada actividad, de modo que se puedan refinar secuencias sin requerir recursos que la institución no dispone.
- **Criterios de validación claros:** Se definirán indicadores de validez de contenido (basados en Lawshe) para cada componente (objetivos, actividades, rúbricas) y métricas de coherencia interna

y factibilidad práctica, estas métricas serán evaluadas por un panel de expertos académicos de la universidad mediante revisión documental y entrevistas focalizadas en docentes.

## **Propósito y objetivos**

### **Propósito**

La finalidad de esta investigación es diseñar y validar una estrategia pedagógica basada en el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con enfoque STEM, tomando como eje temático el tratamiento de agua. A través de este diseño, se busca establecer una propuesta didáctica contextualizada que favorezca el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico como el análisis, la toma de decisiones fundamentadas y la resolución de problemas en estudiantes de séptimo grado, y que pueda ser validada en términos de coherencia interna, pertinencia pedagógica y viabilidad práctica dentro del contexto de una institución pública con recursos limitados.

### **Objetivo general**

Diseñar y validar académicamente una estrategia pedagógica ABP-STEM, centrada en el tratamiento de agua, que promueva habilidades de pensamiento crítico (análisis, toma de decisiones fundamentadas y resolución de problemas) en estudiantes de séptimo grado de la I.T.C. José Eustasio Rivera durante el año académico 2025.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar una estrategia pedagógica ABP-STEM para estudiantes de séptimo grado, estructurada en torno al tratamiento de agua, integrando actividades de indagación, argumentación y resolución de problemas.
- Construir los instrumentos de validación de la estrategia (rúbricas, criterios de análisis, fichas técnicas) que permitan evaluar su coherencia interna, pertinencia pedagógica y viabilidad contextual.
- Validar la estrategia diseñada mediante revisión de contenido y constructo por un panel de expertos académicos, basado en indicadores de validez de contenido métricas de coherencia interna.

**Matriz de medición de impacto educativo y social**

*Tabla 1. Matriz de medición, elaboración propia.*

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Contexto de impacto</b>	<b>Indicadores de cumplimiento e impacto</b>	<b>Medios de verificación</b>
Diseñar una estrategia pedagógica ABP-STEM para estudiantes de séptimo grado, estructurada en torno al tratamiento de agua, integrando actividades de indagación, argumentación y resolución de problemas.	Contexto institucional educativo: necesidad de propuestas activas, contextualizadas y orientadas al desarrollo del pensamiento crítico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coherencia entre los objetivos, actividades y competencias propuestas.</li> <li>- Pertinencia del tema en relación con el entorno local.</li> <li>- Integración explícita de habilidades de pensamiento crítico en la propuesta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documento de la estrategia didáctica diseñada.</li> <li>- Fichas de planificación didáctica.</li> <li>- Rúbricas preliminares de evaluación.</li> </ul>
Construir los instrumentos de validación de la estrategia (rúbricas, criterios de análisis, fichas técnicas) que permitan evaluar su coherencia interna, pertinencia pedagógica y viabilidad contextual.	Contexto académico-técnico: necesidad de contar con herramientas válidas para evaluar propuestas educativas activas en contextos de recursos limitados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de rúbricas alineadas con las competencias de PC y STEM.</li> <li>- Claridad en los criterios de validez de contenido y constructo.</li> <li>- Correspondencia entre instrumentos y etapas del diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rúbricas y matrices de validación.</li> <li>- Cuestionarios de revisión de expertos.</li> <li>- Registro de observaciones analíticas del equipo asesor.</li> </ul>
Validar la estrategia diseñada mediante revisión de contenido y constructo por un panel de expertos académicos, basado en indicadores de validez de	Validar la pertinencia, coherencia y viabilidad de la estrategia pedagógica mediante la aplicación de un método de juicio de expertos, analizando el consenso y las	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de Validez de Contenido (CVI) <math>\geq 0.80</math>.</li> <li>- Ajustes realizados en la estrategia según recomendaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informes de validación experta.</li> <li>- Versión ajustada de la estrategia pedagógica.</li> </ul>



Objetivos específicos	Contexto de impacto	Indicadores de cumplimiento e impacto	Medios de verificación
contenido métricas de coherencia interna	observaciones de los especialistas		

## Marco de referencia

### Marco contextual

La presente investigación se desarrolla durante el año académico 2025 en la Institución José Eustasio Rivera, colegio público ubicado en el casco urbano de Saravena, Arauca, que atiende aproximadamente a 1.100 estudiantes. La población de la investigación está compuesta por un panel de expertos académicos y docentes de la universidad, responsables de validar conceptualmente el modelo propuesto. De manera complementaria, se presenta un caso de estudio conformado por 35 estudiantes de séptimo grado con orientación técnico-comercial (11 niños y 24 niñas), con edades entre 12-14 años, procedentes tanto de la zona urbana como de veredas rurales cercanas.

En el ámbito socioeconómico, Saravena mantiene una economía predominantemente agropecuaria y enfrenta retos en el acceso al agua potable (solo el 76% del recurso cumple con los estándares de consumo) y limitaciones en infraestructura y conectividad. Este contexto, junto con los programas locales de CUMARE E.S.P para la mejora del agua y las políticas de fomento a la educación STEM de la Secretaría de Educación de Arauca, refuerza la pertinencia de abordar el tratamiento de agua como eje temático y de diseñar una estrategia pedagógica basada en Aprendizaje Basado en Proyectos con enfoque STEM, contextualizada en las necesidades y recursos de la comunidad.

### Revisión de estado del arte

La sección del Estado de Arte de la presente investigación se propone como un recorrido crítico y sistemático Por los estudios más relevantes en los que se han combinado la educación en STEM, el desarrollo del pensamiento crítico y metodologías activas en educación secundaria. El propósito es mostrar cómo en diversos contextos internacionales, nacionales y regionales las experiencias del aprendizaje basado en proyectos (ABP). Problem-Based Learning (PBL), el aula invertida u otras estrategias activas han logrado integrar las disciplinas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas



para promover competencias superiores en los estudiantes. A través de este análisis, se identifican las contribuciones claves de cada investigación tanto en el diseño de secuencias didácticas como en los instrumentos de evaluación del pensamiento crítico para fundamentar y orientar el diseño de la estrategia pedagógica que se plantea en el estudio.

En segundo lugar, el estado de arte sintetiza los resultados y aportes de los estudios que han abordado problemáticas ambientales reales (por ejemplo, el tratamiento de agua), donde muestran las mejoras en la motivación como el rendimiento académico, la capacidad de los estudiantes para analizar datos, construir argumentos fundamentados y tomar decisiones basadas en la evidencia punto. Como tal, esta revisión busca contextualizar el valor de las propuestas que pueden servir como base empírica para diseñar y validar una estrategia contextualizada en una Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera teniendo como eje el tratamiento de agua y en cómo se usan para fortalecer el pensamiento crítico en estudiantes de educación básica secundaria.

### ***1. El Aprendizaje Basado en Problemas como Estrategia para el Pensamiento Crítico.***

El corpus revisado muestra que el ABP constituye una estrategia con evidencia cuantitativa y operativa sólida para potenciar habilidades de pensamiento crítico en estudiantes de distintos niveles. El meta-análisis de Tafakur et al. (2023) aporta una base cuantitativa: un efecto promedio positivo del ABP sobre análisis, evaluación de argumentos y resolución de problemas, y además identifica condiciones que potencian esos efectos como proyectos anclados en contextos reales, fases explícitas de reflexión metacognitiva, duración adecuada y formación docente previa. Como tal, estas conclusiones permiten justificar teóricamente la elección metodológica del proyecto y ofrecen criterios prácticos (estructura y duración mínima, inclusión de instrumentos de reflexión) para el diseño de unidades didácticas orientadas al pensamiento crítico.

Los estudios de campo complementan la base teórica con evidencias prácticas que ilustran cómo traducir esos parámetros en aula. Implementaciones focalizadas en problemáticas hídricas, como la unidad sobre filtros caseros de Oyewo et al. (2022) documentan mejoras cuantificables en las puntuaciones de pensamiento crítico y atribuyen los resultados a la integración sistemática de prototipado, medición empírica y reflexión guiada. De forma congruente, el estudio “*Aprendizaje basado en proyectos para el uso racional del agua*” de Fragozo-Argote & Guerra-Palmera (2022) muestran la viabilidad pedagógica de un ABP centrado en el uso racional del agua, ofreciendo instrumentos (cuestionarios, diarios de campo, cartillas) y una estructura de fases aplicable en contextos escolares.

Desde la perspectiva de la implementación sostenible, McNall et al. (2023) evidencia que el co-diseño docente, las rúbricas participativas y la mentoría fortalecen la capacidad del profesorado para facilitar discusiones críticas y mantener la coherencia entre objetivos, actividades y evaluación; en consecuencia, la formación docente emerge como componente indispensable para la fidelidad y calidad de las intervenciones ABP.

A pesar de estos avances, persisten vacíos relevantes que condicionan la generalizabilidad y la pertinencia contextual de las intervenciones ABP en entornos como la Orinoquía colombiana y las instituciones técnicas: (a) escasez de estudios publicados que documente implementaciones en instituciones técnicas comerciales y en regiones con recursos limitados; (b) carencia de instrumentos validados localmente para medir pensamiento crítico en proyectos STEM sobre problemáticas hídricas; (c) falta de evaluaciones longitudinales que permitan conocer la sostenibilidad de los efectos a mediano y largo plazo; y (d) necesidad de modelos de formación docente prácticas y escalables, ajustadas a la realidad operativa de centros con laboratorios mínimos y carga horaria reducida. Estas lagunas limitan la adaptación precisa de protocolos y materiales, mientras restringen la evidencia disponible para guiar políticas escolares y programas de formación.

Por ello, la presente investigación responde directamente a esas carencias ya que propone diseñar y validar académicamente una estrategia ABP-STEM centrada en el tratamiento de agua en la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera, con énfasis en (a) adaptar la secuenciación y la duración de las unidades a las condiciones locales; (b) elaborar y validar instrumentos de evaluación del pensamiento crítico pertinentes para estudiantes de secundaria colombianos; y (c) construir un modelo de formación docente co-diseñado y evaluado en su factibilidad. De este modo, la investigación pretende demostrar la eficacia pedagógica del ABP en un contexto técnico y regional concreto, y aportar una evidencia transferible sobre instrumentos, procedimientos y estrategias de formación que faciliten la escalabilidad y la sostenibilidad de intervenciones ABP en contextos escolares con recursos limitados.

## ***2. La Integración del Enfoque STEM en la Educación***

La literatura sobre STEM aporta una confirmación de su eficacia, marcos operativos para articular disciplinas y prácticas que favorezcan el pensamiento crítico en contextos de enseñanza activa. Desde ese ángulo, los antecedentes seleccionados proveen tres tipos de insumo: (1) modelos de secuenciación y recursos para el trabajo en entornos reales; (2) herramientas de evaluación que articulan prácticas STEM con criterios de calidad argumentativa; y (3) propuestas de innovación tecnológica que plantean nuevas posibilidades, y dilemas para el diseño instruccional. A continuación, se sintetizan y contrastan estos

aportes, con especial énfasis en las implicaciones para un proyecto ABP-STEM centrado en el tratamiento de agua.

Martín et al. (2024) ofrecen un ejemplo operativo de cómo las rutas STEM permiten convertir el entorno inmediato en laboratorio pedagógico, en su diseño de planeación, desarrollo y evaluación combinado con recursos digitales analógicos (la plataforma MathCityMap y cuadernos de campo) demuestra que las actividades al aire libre pueden estructurarse de manera rigurosa para fomentar indagación, recolección de datos y resolución colaborativa. La contribución clave para este estudio es metodológica: muestra cómo integrar tecnología móvil para guiar procesos de indagación y prototipado sin perder control sobre la secuencia didáctica ni la evaluación formativa, lo que resulta directamente transferible a actividades de monitoreo y diagnóstico de calidad de agua.

Pérez Torres et al. (2024) aportan la dimensión instrumental necesaria: una rúbrica validada de 21 criterios centrados en prácticas STEM que vincula explícitamente fases del proyecto con indicadores de indagación, pensamiento de diseño, análisis de datos y calidad de la argumentación; su trabajo es relevante tanto para la construcción de instrumentos de evaluación como para garantizar coherencia entre lo que se espera enseñar y lo que efectivamente se evalúa. Por lo tanto, en el diseño de la estrategia ABP-STEM propuesta, esa matriz funciona como base para elaborar rúbricas adaptadas a tareas específicas como, por ejemplo, la interpretación de mediciones de turbidez o defensa de recomendaciones de tratamiento, y para validar contenido y consistencia interna de los instrumentos de evaluación del pensamiento crítico.

Muñetón et al. (2025) despliegan una perspectiva contemporánea al incorporar herramientas de inteligencia artificial dentro de secuencias ABP orientadas al ODS 6, su propuesta evidencia que la IA puede potenciar fases de prototipado, por ejemplo, mediante simulaciones o análisis asistido de datos, y permitir nuevos tipos de retroalimentación formativa; sin embargo, también introduce la necesidad de articular reflexiones éticas y competencias digitales en el diseño curricular. Para la intervención sobre tratamiento de agua, la experiencia de Muñetón et al. sugiere oportunidades de mejoras en la precisión del modelado y en la personalización del feedback, y riesgos que deben gestionarse (dependencia tecnológica, brechas de acceso, y la exigencia de alfabetización crítica sobre herramientas algorítmicas).

Como Topsakal et al. (2025) también aportan, su tratamiento acerca de la evaluación de las tendencias de pensamiento crítico y las concepciones de los estudiantes o un su forma de abordar la parte de la dimensión cognitivo-afectiva del aprendizaje STEM. Topsakal et al. analizan cómo los estudiantes perciben la relevancia epistemológica de las tareas STEM (su capacidad para conectar conocimiento disciplinar con problemas reales) y documentan tendencias emergentes, entre las cuales destacan: mayor

valoración de actividades que requieran argumentación y evidencia empírica; demanda de retroalimentación transparente y criterios de evaluación explícitos; y una apreciable correlación entre la percepción de pertinencia del reto y el compromiso cognitivo.

Metodológicamente, el estudio combina medidas cuantitativas de cambio en habilidades (tests de razonamiento y cuestionarios de percepción) con análisis cualitativos de los discursos estudiantiles, lo que permite identificar no sólo si cambian competencias, sino también cómo los alumnos interpretan y valoran esas competencias. Desde la perspectiva del proyecto propuesto, las implicaciones de Topsakal et al. son relevantes: la eficacia instruccional depende tanto de la robustez de las tareas como de la claridad evaluativa y de la percepción de relevancia por parte del estudiantado; por ende, la estrategia ABP-STEM debe integrar mecanismos visibles de evaluación y espacios para que los estudiantes expresen y reflexionen sobre su experiencia.

Por lo tanto, en esta subsección se subraya que la integración STEM además de ser suma disciplinar, también exige instrumentos de evaluación precisos, que cuente con diseños que articulen la tecnología y el contexto, y sobre todo, la atención a las percepciones estudiantiles. En síntesis, estas investigaciones influyen en la justificación de la investigación propuesta: diseñar, adaptar y validar una estrategia ABP-STEM sobre tratamiento de agua que incorpore rúbricas contextualizadas, evalúe efectos cognitivo-afectivos y explore el papel de herramientas digitales (incluida la IA) en condiciones reales de la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera.

### ***3. Modelos Pedagógicos que Articulan ABP y STEM.***

La confluencia entre el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y el enfoque STEM exige marcos pedagógicos que trasciendan la suma de metodologías: requiere modelos explícitos que integren fases de indagación, diseño, prototipado y evaluación, conservando a la vez rigurosidad disciplinar y una intención formativa sobre el pensamiento crítico. En el plano nacional, H. P. Fernández (2022) ofrece un ejemplo paradigmático al incorporar el Proceso de Diseño de Ingeniería (PDI) en una media técnica, donde el aprendizaje por proyectos articula la resolución de problemas ambientales con la construcción de prototipos y el uso de entornos virtuales de apoyo, como tal, su diseño ilustra cómo un marco técnico-procedimental puede sostener tanto competencias instrumentales como procesos reflexivos propios del pensamiento crítico, facilitando la conexión entre saberes teóricos y productos tecnológicos concretos.

La propuesta de Rodríguez (2022) complementa este enfoque desde el diseño curricular, donde su secuencia sobre aguas subterráneas combina modelización, salidas de campo y tareas de argumentación,

evidenciando que la articulación entre actividades prácticas y espacios de reflexión es determinante para que la modelización funcione como herramienta cognitiva y no solo como ejercicio técnico. En tanto, Ramírez-Figueroa (2024) muestra que programas sistémicos como RUTA STEM habilitan condiciones organizativas (espacios adaptados, dinámicas de concurso, plataformas colaborativas) que favorecen la implementación de proyectos interdisciplinarios a escala institucional. Juntos, estos trabajos ofrecen un repertorio metodológico: PDI y design thinking para estructurar procesos de solución; rutas y actividades fuera del aula para anclar aprendizajes; y dinamizadores institucionales (torneos, plataformas) para sostener la motivación y la evaluación formativa.

Simeon et al. (2020) aporta una pieza teórica y práctica clave al introducir el design thinking como puente entre la generación de ideas y la validación empírica en contextos educativos similares; en ese sentido, el design thinking complementa al ABP en la medida en que prioriza la empatía con el problema, la iteración rápida de prototipos y la retroalimentación continua, elementos que, integrados con prácticas STEM, promueven tanto creatividad como pensamiento crítico sustentado en evidencia. Además, en la praxis, combinar PDI, design thinking y ABP facilita una secuenciación coherente: identificación del problema, investigación guiada, ideación y prototipado, pruebas empíricas, análisis crítico y comunicación de resultados; cada etapa puede y debe incorporar criterios evaluativos específicos para pensamiento crítico, tal como proponen las rúbricas STEM que se han venido empleando en contextos europeos y latinoamericanos.

No obstante, la revisión revela limitaciones empíricas y operativas: son relativamente escasos los estudios que documenten de manera sistemática experiencias integradas ABP-STEM en instituciones técnicas de secundaria, con protocolos replicables y evaluación rigurosa; además, las descripciones a menudo adolecen de detalle sobre la formación docente necesaria para sostener la integración y sobre la manera de articular la participación comunitaria y la transferencia de resultados hacia actores locales. Asimismo, existe una carencia de instrumentos validados que midan de forma específica el pensamiento crítico en tareas que combinan diseño técnico y argumentación científica, así como poca evidencia acerca de la escalabilidad y sostenibilidad institucional de estos modelos.

Debido a ello, el presente estudio se propone abordar estas lagunas, tales como, diseñar y validar académicamente un modelo pedagógico ABP-STEM que combine PDI y design thinking para el tratamiento de agua en la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera; elaborar rúbricas e instrumentos de evaluación adaptados al contexto técnico-regional; y evaluar la factibilidad de un

programa de formación docente y de mecanismos de vinculación comunitaria, con el fin de producir evidencia transferible sobre cómo articular sosteniblemente ABP y STEM en contextos escolares técnicos.

#### ***4. Investigaciones sobre la Enseñanza de Problemáticas Ambientales (agua).***

La literatura sobre educación ambiental en torno al agua especialmente en América latina converge 3 rasgos didácticos, el primero, en el anclaje en problemas reales del territorio tales como calidad, acceso, gestión del recurso; en segundo, en metodologías activas que combinan indagación, modelización y trabajo de campo y en tercer lugar evaluación que exige argumentación con base en datos. En ese sentido, ese trípode favorece aprendizajes conceptuales sobre hidrología mientras sostiene las prácticas de razonamiento sus propias del pensamiento crítico al analizar evidencias contrastar fuentes y justificar decisiones ante criterios técnicos y socio ambientales.

En esa línea, Gonzaga (2025) documenta en Ecuador una secuencia ABP orientada al diseño de redes de monitoreo para ríos Malacatos y Zamora, su propuesta integra protocolos de muestreo, prototipado de sensores y análisis de pH, turbidez y oxígeno disuelto. Más allá de los avances técnicos como los incrementos en precisión de medición, el valor didáctico radica en que el estudiantado problematiza la fiabilidad de datos, compara métodos y defiende recomendaciones ante actores simulados; es decir, aprende a tomar decisiones fundamentadas a partir de evidencia empírica y criterios de validez, transferibles al aula de secundaria con adaptaciones de escala y recursos. Además, uno de los antecedentes fundamentales para el presente estudio, es el informe del IDEAM (2021), el cual evidencia serias dificultades en la calidad del agua en el departamento de Arauca, particularmente en municipios como Saravena, donde únicamente el 76% del recurso hídrico cumple con los criterios de potabilidad.

Por otro lado, en el ámbito local, la empresa CUMARE E.S.P. ha llevado a cabo iniciativas para mejorar las redes de abastecimiento en zonas rurales del departamento; no obstante, estos esfuerzos han puesto de manifiesto limitaciones técnicas e infraestructurales, así como la escasa participación de las comunidades educativas en actividades de sensibilización y monitoreo (Gobernación de Arauca, 2021); y estos reportes resaltan la urgencia de involucrar a instituciones educativas en procesos formativos con aplicaciones científicas reales, en consonancia con los propósitos de la presente investigación. De igual manera, en el contexto escolar, las instituciones como la Gustavo Villa Díaz, en Arauquita, han llevado a cabo experiencias exitosas relacionadas con la medición de turbidez del agua mediante materiales caseros y sensores de bajo costo.

Teniendo en cuenta lo anterior, aunque estas experiencias no han sido formalizadas en publicaciones científicas, sí han sido presentadas en espacios como la Feria Departamental de Ciencia y Tecnología promovida por la Secretaría de Educación de Arauca; y estas prácticas, que integran elementos esenciales de ciencia y tecnología, muestran que es posible promover el pensamiento científico en la vida cotidiana incluso con recursos limitados (Gobernación de Arauca, 2017). Asimismo, el Plan de Educación Ambiental del Departamento de Arauca (2021–2025) establece como una de sus líneas principales el fortalecimiento de proyectos escolares articulados a la gestión ambiental del territorio, entre ellos el uso responsable y la protección del agua; dicho plan promueve el empleo de metodologías activas como el Aprendizaje Basado en Proyectos y recomienda explícitamente la integración de enfoques interdisciplinarios, lo que respalda la pertinencia de implementar una estrategia pedagógica ABP-STEM como la que se plantea en este estudio (Alcaldía Municipal de Arauca, 2021)

El panorama regional muestra, además, que la pertinencia contextual es un detonante pedagógico, en la región de la Orinoquía colombiana, caracterizada por su biodiversidad y altos contrastes entre zonas urbanas y rurales, se han desarrollado esfuerzos educativos focalizados en el manejo sostenible del agua y la promoción de competencias científicas.

Estas brechas justifican la propuesta sobre diseñar y validar académicamente una estrategia ABP-STEM de tratamiento de agua en la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera, se aportará documentación replicable, instrumentos de evaluación contextualizados y un esquema de vinculación con actores territoriales que fortalezca la educación científica y la toma de decisiones informadas sobre el recurso hídrico.

### **Marco teórico**

El presente marco teórico aborda la imperativa necesidad de fortalecer el pensamiento crítico en la educación secundaria, habilidad que resulta fundamental para el siglo XXI. Desde ese pensamiento, el entorno global está caracterizado por la complejidad y la sobreabundancia de información digital, por lo tanto, la capacidad de analizar, evaluar y sintetizar información de manera efectiva resulta ser indispensable para el desarrollo de los estudiantes (Mantilla & Prada, 2025). Por ello, el presente estudio propone la educación STEM como una estrategia pedagógica para cultivar esta competencia relacionada con el PC. Por otro lado, la elección del tratamiento del agua como contexto de aprendizaje no es fortuita; ya que, esta temática ofrece un dominio inherentemente disciplinario y relevante para la aplicación de los

principios de STEM, y en ese sentido, conectando la teoría del aula con problemáticas del mundo real (Carrera Castro et al., 2024).

En ese orden de ideas, el pensamiento crítico, según Siegel (1988) es entendido como el pensamiento que evalúa, reflexiona y fundamenta con criterios las decisiones para qué creer o hacer, en este caso, constituye una competencia esencial para el desarrollo de los estudiantes (Prieto Galindo, 2018). En este sentido, el pensamiento crítico incluye habilidades como analizar información, formular inferencias, valorar evidencias y construir argumentos sólidos, todas dirigidas a favorecer decisiones bien fundamentadas, y en el panorama educativo actual, la falta de estas capacidades se refleja en estudiantes que aceptan datos sin cuestionarlos, lo que los expone a la desinformación, la manipulación y formas de pensamiento superficial, especialmente en entornos digitales donde abundan mensajes contradictorios.

De su lado, la elección del tratamiento de agua como núcleo temático del proyecto se convierten razones suficientes y en consecuencia es un eje temático susceptible de poder ser muy práctico y además de ir acorde con las necesidades reales de los estudiantes y las formas de hacer de la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera, ya que, este tema de estudio admite contar con un problema que permite poder integrar de forma orgánica los saberes científicos, los tecnológicos, de ingeniería y matemáticos, al contar con un tema de estudio que puede ofrecer un espacio concreto y pertinente para poder incentivar la indagación crítica y el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior. Además, la complejidad de las problemáticas hídricas actuales como contaminantes emergentes, sequías o inundaciones demanda soluciones interdisciplinarias y una mirada crítica, lo que convierte al tratamiento de agua en un laboratorio contextual idóneo para el aprendizaje STEM.

En coherencia con lo anterior, el marco teórico se organiza en cuatro ejes analíticos que avanzan progresivamente hacia el propósito del estudio: (1) el pensamiento crítico en la educación secundaria; (2) el enfoque STEM como propuesta pedagógica; (3) las metodologías activas aplicadas al aprendizaje STEM; y (4) los conceptos STEM vinculados al tratamiento del agua; asimismo, la investigación se sustenta en perspectivas constructivistas del aprendizaje.

### **Enfoque constructivista del aprendizaje**

Si partimos del paradigma constructivista desde el enfoque de aprendizaje, el conocimiento se establece activamente por el estudiante en su entorno físico, social y cultural, desde esta interpretación aprender significa un proceso interno y en consecuencia, el sujeto es capaz de reorganizar sus estructuras cognitivas ante nuevas experiencias que se le presentan. Jean Piaget (1952), quien se erige como uno de los



principales referentes del constructivismo cognitivo, sostiene que en la adolescencia, etapa idónea para la educación secundaria, los estudiantes pasan por el estadio de las operaciones formales, el cual representa una fase del desarrollo del pensamiento abstracto que se manifiesta cuando el estudiante se sumerge en la construcción de hipótesis y en el razonamiento lógico. Esto implica que tienen la oportunidad de desarrollar habilidades como el pensamiento crítico, siempre y cuando surjan situaciones de aprendizaje que aporten desafíos cognitivos que creen desequilibrios y que les empujen a reconstruir sus esquemas mentales.

Desde un enfoque complementario, Vygotsky (1978) pone el acento en el carácter social del aprendizaje, ya que pone de manifiesto que el desarrollo cognitivo del sujeto está mediado a partir de las interacciones culturales y sociales a las que se encuentra expuesto. La manera en que el concepto de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) establece la distancia que existe entre los aprendizajes que puede llegar a realizar un alumno por sí solo y los que puede llegar a alcanzar cuando se apoya en la guía de un docente o de otros compañeros. Esta noción resulta especialmente pertinente para metodologías como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), este se sustenta en principios socioconstructivistas, particularmente en los aportes de Vygotsky sobre la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP), que destaca la importancia de la interacción social y la mediación pedagógica para potenciar las capacidades cognitivas. Bajo esta perspectiva, el aprendizaje emerge como un proceso activo, donde el estudiante construye significados a partir de la colaboración, el diálogo y la guía experta del docente.

Por lo tanto, el ABP se configura como una metodología que se desarrolla en fases que van desde la identificación de una pregunta o un problema hasta la vinculación del contexto junto a los intereses, en este caso de los estudiantes, además de ello, se presenta desde la planificación del proyecto donde se establecen metas, recursos y roles; también se desarrolla en la fase de investigación y desarrollo donde implica la búsqueda análisis y aplicación de la información recolectada; además de ello, se encuentra la fase de la creación de un producto en el cual se concretan las ideas en propuestas y en la presentación y evaluación donde se socializa y reflexiona la crítica sobre el proceso y los resultados.

Las visiones relacionadas a la comitiva de Piaget y la sociocultural de Vygotsky, coinciden en afirmar que el aprendizaje se trata de un proceso activo, contextualizado y mediado socialmente; de esa manera, el ABP-STEM Se convierte en un enfoque que orienta a la investigación a promover la participación activa de los estudiantes en la resolución de un problema real y que en este caso sería el tratamiento del agua en la comunidad. Por lo tanto, en el momento en que los estudiantes se enfrentan a este reto, ellos mismos van desarrollando los diferentes procesos de pensamiento crítico en el cual van



aplicando conocimientos científicos y a la vez colaboran con sus pares, todo esto dentro de un aprendizaje significativo y proactivo. En ese sentido Windschitl (2002) y Barron y Darling-Hammond (2020), respaldan esta perspectiva ya que evidencian que los entornos de indagación guiada y los proyectos colaborativos van generando con el tiempo aprendizajes más profundos a comparación de los métodos tradicionales, ya que estos se comprometen de forma más intensa a los procesos cognitivos del estudiante.

En definitiva, integrar el ABP-STEM con el tema del tratamiento del agua no solo alinea con estas bases teóricas, sino que transforma la educación en algo vivo y relevante. Los chavales se implican hasta el fondo en proyectos como el que hemos descrito, no solo aprenden ciencia o mates de forma abstracta, sino que ven percutir sus ideas en un barrio o pueblo concreto, mejorando en este caso el acceso al agua limpia; estimulan una motivación intrínseca que va mucho más allá de las notas que obtienen en la escuela, fomentando a la vez ciudadanos responsables y críticos que comprenden que el conocimiento sirve para ayudar a resolver problemas del mundo; se construyen sendas de tal forma que los jóvenes se preparan para un futuro en el que la colaboración y la sostenibilidad no son palabras vacías, sino acciones cotidianas que marcan la diferencia.

### **El pensamiento crítico en educación secundaria**

El pensamiento crítico es una de las competencias que resulta esencial en la formación integral de los alumnos, y en la etapa de la educación secundaria, su prevalencia los conduce a interactuar de forma reflexiva y eficaz con el entorno; además, este representa un proceso reflexivo que se orienta a entender situaciones, ideas o afirmaciones con el fin de tomar decisiones con carácter fundamentado; y el mismo consiste en plantear de forma incesante cuestiones, en identificar supuestos y en evaluar la verdad de los hechos, lo que permite otra visión más amplia y entender la complejidad que se oculta tras aquello que, en un principio, parece evidente. Por esta razón, su desarrollo va íntimamente vinculado con la enseñanza de habilidades analíticas para transformar información compleja en un cúmulo de elementos más simples mediante la utilización de herramientas gráficas, mapas conceptuales, matrices comparativas, sistemas comparativos.

Del mismo modo, la aplicación de esta clase de estrategias facilita a los estudiantes la capacidad para entender cómo organizar los datos, analizar datos, evaluar argumentos, observar y detectar sesgos o falacias lógicas, siendo que un aspecto principal en uno de los pasos a seguir es que sea la capacidad de distinguir la observación objetiva que se fundamenta en la recogida directa y comprobable de los datos, y



la inferencia subjetiva, que se apoya en interpretación, experiencias pasadas o habilidades de razonamiento personal. Sin embargo, la habilidad cognitiva no es suficiente para propiciar el desarrollo del pensamiento crítico, sino que se debe de añadir al desarrollo de la capacidad cognitiva una actitud predispuesta a la indagación crítica y eso implica motivación, apertura mental, disposición a la indagación, voluntad para cuestionarse a uno mismo y capacidad para modificar las propias concepciones cuando la información lo exige. Por lo tanto, las mencionadas actitudes, cuando se combinan con las herramientas del análisis hacen que el pensamiento crítico se convierta en una competencia considerada en las distintas instancias académicas y laborales, y tengamos, además, una asociación con la creatividad, la innovación, la flexibilidad cognitiva y la adaptación a las constantes modificaciones que caracterizan el mundo contemporáneo. Fortalecer el pensamiento crítico es necesario para el alumnado, a la hora de prepararlos en la vinculación con los nuevos retos del siglo XXI.

Por otro lado, es en la educación secundaria donde puede tener particular importancia promover el pensamiento crítico a raíz de la sobreexposición a la información digital, las complejidades de ciertos problemas sociales, pero también porque ser ciudadanos capaces de discernir, de decidir con criterio en un entorno que cambia constantemente es necesario. Desde esta perspectiva, Ennis (2011) establece que el pensamiento crítico debe constituir un objetivo transversal del currículo y ser fomentado desde todas las áreas del conocimiento; así, en ciencias y matemáticas se vincula con la formulación de hipótesis, el análisis de evidencias y la argumentación basada en datos; mientras que en humanidades y ciencias sociales se expresa en la interpretación crítica de fuentes, el análisis de diversas perspectivas y la construcción de juicios debidamente sustentados; también se han evidenciado que el uso de metodologías activas como la indagación guiada o el aprendizaje basado en proyectos potencia y mejora de manera la capacidad de los estudiantes para analizar información de forma autónoma (Chi et al., 2022; Danczak et al., 2017).

Desde este punto de vista, el pensamiento crítico (PC) es una noción que proviene de la filosofía clásica, siendo referencia de la práctica socrática del cuestionamiento del conocimiento (en lo que respecta a la supresión de los mitos) y de la idea de pensamiento reflexivo que expuso John Dewey (1933) -un pensamiento que estaba vinculado a la búsqueda activa de la solución a las situaciones inciertas-, pero desde las perspectivas más recientes se opina que el PC se encuentra en el proceso de forma deliberativa, lógica y autorregulada mediante el cual la persona puede revisar, relacionar y valorar aquella información con el objeto de llevar a cabo juicios argumentados y el de tomar decisiones más razonables, es decir, no



sólo son precisas las habilidades cognitivas, sino que también son necesarias las actitudes que favorecen la reflexión, la apertura y la autoconciencia de cómo se piensa.

Por una parte, Bloom (1956) por medio de su célebre Taxonomía situó al análisis, la síntesis y la evaluación en los niveles superiores del pensamiento, los cuales son de gran valor para el PC porque requieren la elaboración profunda y consciente de la información; y Ennis (1987, 2011) ha mejorado esta posición al definir al PC como un pensamiento cuidadoso y reflexivo que tiene por finalidad el de decidir sobre qué creer o qué acción llevar a cabo, desglosándolo en habilidades tales como clarificar las ideas, inferir y juzgar argumentos, y disposiciones como la de apertura mental y la de la búsqueda honesta de la verdad que las mismas deben ser trabajadas de forma conjunta. Desde el marco educativo se han hecho eco de estas voces Matthew Lipman (1988), desarrollando la idea de que el PC se puede cultivar desde una tierna edad a través del diálogo filosófico para construir comunidades de indagación en donde los alumnos aprenden el pensamiento crítico como un proceso argumentativo, de cuestionamiento y revisión de las ideas que poseen; a esta idea se le suma la postura de McPeck (1981) quien llegó a afirmar que el PC depende en gran medida de los conocimientos profundos del área o tema sobre el cual se reflexiona.

Por otro lado, Siegel (1988) esbozó un enfoque interesante al señalar que el PC no solo es la capacidad de examinar las razones, sino que también es la predisposición ética de actuar coherentemente con ellas, y después, Facione (1990) por medio del Proyecto Delphi logró consensuar, que es como entender el PC como un juicio agente a partir de un conjunto de habilidades como las de interpretar, analizar, evaluar, inferir, explicar, y unas determinada actitud, la humildad intelectual, la perseverancia; también, Halpern (1998) realizó un modelo que se orientó hacia la enseñanza del PC aplicable a situaciones de la vida diaria y estableció la estructura de las habilidades críticas en las clasificaciones del análisis verbal, la comprobación de hipótesis, la evaluación de riesgos y la toma de decisiones; además, Halpern subrayó el papel central de la metacognición a la hora de supervisar y regular el propio pensamiento. De acuerdo con la misma línea, Paul y Elder (2003, 2019) propusieron un enfoque sistemático de los Elementos del Pensamiento, de los estándares intelectuales y de las virtudes intelectuales con el objetivo de conducir a un pensamiento crítico riguroso y ético, que pueda superar los sesgos personales y sociales.

En el ámbito de la psicología del desarrollo, Kuhn (1999) puso de manifiesto que el PC está acompañado de unas habilidades argumentativas complejas y de una comprensión epistémica que se constituye mediante el reconocimiento de cómo se construye y justifica el conocimiento, que es capaz de



superar posiciones absolutistas o relativistas y, finalmente, todas y cada una de estas visiones de los autores permiten colaborar en entender el pensamiento crítico como una competencia compleja, de una alta carga temática y con gran carácter interdisciplinar que se vuelve imprescindible para un aprendizaje significativo, para una participación activa en la sociedad y para enfrentar problemas reales con criterio y responsabilidad.

En la actualidad, la incorporación de las nuevas tecnologías digitales significa una gran oportunidad para impulsar el pensamiento crítico en el ámbito de la educación secundaria en la medida que instrumentos como plataformas de aprendizaje en línea, simuladores virtuales o algoritmos de inteligencia artificial permiten a los alumnos interactuar y explorar de forma autónoma contextos complejos. El uso de las comunidades virtuales como twitter para detectar noticias falsas o el uso de software para la inspección de datos permite detectar patrones, validar fuentes o construir argumentos con evidencias digitales, lo que no solamente favorece el desarrollo de las habilidades analíticas sino también promueve una actitud escéptica y responsable en relación con la abundante información que está presente en las redes de internet (Bailin & Siegel, 2003; Abrami et al., 2015). En consecuencia, la tecnología actúa como un motor que convierte el aula en un espacio que incita a la indagación colaborativa, un espacio en el que el alumnado, conforme al método científico, aprende a poner en entredicho los algoritmos, analizar los sesgos de los datos y poner a prueba el pensamiento crítico sobre problemas reales de la actualidad.

Por último, la evaluación y la promoción del pensamiento crítico no pueden realizarse mediante pruebas estandarizadas, en su lugar han de introducirse rúbricas holísticas que evalúen las habilidades cognitivas y las disposiciones afectivas, tal como se da con los portafolios, los debates, los trabajos de investigación en los que hay que solventar dilemas éticos, etc. Múltiples estudios destacan que estas metodologías, por no decir investigaciones, logran no únicamente motivar, sino que los estudiantes puedan lidiar con trabajos de un futuro laboral en transformación, renovando la resiliencia cognitiva y la creación (Saiz & Rivas, 2008; Abrami et al., 2020). De esta manera, el compromiso que mantiene la institución con el desarrollo del pensar crítico garantiza la formación de personas autónomas y éticas, que sean capaces de hacer suya y contribuir positivamente a una sociedad cada vez más interconectada y compleja.

### **La educación STEM como enfoque pedagógico**

La educación STEM permite una reformulación de las prácticas educativas, más allá de la mera confluencia de disciplinas para configurar un eje de movilidad que permita un cambio sistémico, porque

en este sentido es una manera de educar, de hacer educación, de generar una socialización y de generar el cambio que en sí mismo es educativo, social y político, para dar respuesta a las necesidades y a los problemas de varias disciplinas que tienen como necesidad común desarrollar competencias científico-tecnológicas. Además, el modelo STEM pretende superar las separaciones disciplinares, impulsando la conexión entre conceptos y destrezas que son necesarias en un mundo cada vez más complejo y tecnológico, dado que, no se trata de una mera adición de asignaturas sino de una transformación de la concepción y práctica del aprendizaje, dejando atrás contenidos separados para pasar a una enseñanza integradora, orientada a la resolución de problemas y vinculada a la vida cotidiana. Y esto facilita que potencie su capacidad para estimular el pensamiento crítico haciendo que las prácticas educativas deriven hacia la utilización de modelos más participativos y globalizadores.

El modelo educativo STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), está fundamentado sobre una serie de principios pedagógicos que permiten convertir la enseñanza tradicional en el marco de una experiencia activa, referida y transversal. En su versión más reciente, STEM ha evolucionado y se encuentra en propuestas como el E-STEM o el STEM+, donde las dimensiones éticas, ambientales y sociales pasan a un primer plano.

La interdisciplinariedad, uno de los componentes esenciales del modelo STEM, comprende la aplicación integrada a fin de construir de manera congruente conceptos, habilidades y métodos de distintas disciplinas, respecto a lo que la interdisciplinariedad puede operar desde distintos niveles: se puede dar en la capacitación de materias individuales mediante nexos puntuales a la integración total de saberes en proyectos holísticos. Este carácter interdisciplinario permite conseguir un tipo de aprendizaje más significativo al poner de manifiesto la aplicabilidad de los contenidos escolares en contextos reales. Relacionado con esto, el aprendizaje activo y contextualizado sería otro aspecto fundamental. Así, desde la práctica STEM se promueve que los estudiantes sean los protagonistas de sus propios procesos formativos, teniendo la posibilidad de vivir experiencias en las que aplican conocimientos a situaciones reales, del entorno más cercano. En este sentido, el marco STEM+ refuerza la noción de aprendizaje situado al poner de manifiesto el contexto cultural, social y geográfico que los estudiantes han desarrollado en determinada comunidad, elemento que toma particular protagonismo en comunidades que responden a la ruralidad (por ejemplo, el contexto de la región de la Orinoquía).

Por otro lado, el marco STEM se encuentra orientado hacia la resolución de problemas, que es uno de los principios orientados a favorecer la construcción del pensamiento crítico de los estudiantes. A partir de la exposición a problemas y situaciones complejas, los estudiantes deben, por tanto, movilizar



conocimiento diversificado, formular hipótesis, analizar información o tomar decisiones o proponer soluciones, fomentando así un aprendizaje significativo y activo. Es decir, que tal proceso, estimula las competencias del siglo XXI, como son el pensamiento crítico, la creatividad, la colaboración, la adaptabilidad y la alfabetización digital, entre otras.

Por otro lado, uno de los principios del modelo es su vocación hacia la ciencia y la tecnología del conocimiento como estrategia para despertar el interés de los estudiantes por las carreras STEM. El componente persigue romper los estereotipos y ampliar más allá de las trayectorias profesionales esperadas, sobre todo, de afirmaciones que interpelan a grupos poco representados como las mujeres o las comunidades rurales. De esta manera, STEM se articula en torno a principios de inclusión y de equidad, comprometiéndose con una enseñanza que otorga oportunidades reales a todo el alumnado, independientemente de su origen y/o género.

La integración tecnológica es otro de los elementos que distinguen el enfoque, porque la incorporación de herramientas digitales como simulaciones, entornos de programación, laboratorios virtuales, inteligencia artificial, etc. favorece la representación de conceptos abstractos a la vez que refuerza competencias digitales de gran relevancia en la vida actual. Por último, las versiones más renovadas de esta perspectiva como el E-STEM o el STEM+ se suman el componente ético-social medioambiental, lo que favorece el aprendizaje al incorporar dimensiones de sostenibilidad, justicia social y responsabilidad ciudadana. De esta forma, algunos de los temas que deriven del tratamiento del agua también se abordan desde lo técnico y una mirada crítica que tenga en cuenta los costes sociales, ambientales y comunitarios de las decisiones tomadas. Esta visión holística del tema potencia el pensamiento crítico al exigir que el alumnado no solo valore la idoneidad científica de sus propuestas, sino que también considere la repercusión que pueden tener en la vida de las personas y en el entorno.

A la par, el enfoque STEM genera un cambio en el modo de enseñar las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, a la vez que redefine el rol de estudiante como un agente activo de la proposición de soluciones reales, contextualizadas y éticamente fundamentadas; así pues, esta transformación lo convierte en un modelo didáctico especialmente pertinente para los retos del siglo XXI.

De la misma manera, el enfoque STEAM se convierte en una propuesta de integración curricular que consagra al modelo STEM tradicional, y es que el STEAM ya que incorpora las artes entendidas como manifestación estética, como la posibilidad de desencadenar el diseño, la creatividad y la comunicación potenciando así el desarrollo integral del alumnado, por lo que la interacción entre las ciencias, la tecnología, la ingeniería, las artes y las matemáticas condiciona el rol de aprendices que

desarrollan un papel activo en la proposición y generación de soluciones reales, contextualizadas y éticamente fundamentadas. Tal articulación, esencial en procesos como el prototipado o la resolución de problemas complejos. por ejemplo, los vinculados a la gestión del agua, convierte a STEM en un modelo pedagógico pertinente para responder a los desafíos educativos, sociales y ambientales del siglo XXI, particularmente en el contexto latinoamericano (Tovar, 2019).

### **Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)**

El ABP, como metodología activa, es propicio para que los estudiantes integren conocimientos y desarrollen habilidades a partir de situaciones concretas a partir de la exploración y la respuesta a un reto o pregunta que despierta interés y que se trabaja a través de un proyecto que se desarrolla en un tiempo largo. A diferencia de las lecciones tradicionales centradas en contenidos aislados, en el ABP los alumnos trabajan en la investigación de problemas auténticos, interdisciplinarios en muchos casos, y finalizan con la producción de un resultado concreto o su presentación ante una audiencia

Blumenfeld et al. (1991), en un artículo clásico, señalan que el ABP motiva a los alumnos al involucrarlos en tareas contextualizadas y con sentido, lo que incrementa su compromiso y esfuerzo invertido en el aprendizaje

En la misma línea, Bell (2010) argumenta que el ABP prepara a los estudiantes con *habilidades del siglo XXI* –como la colaboración, la comunicación y el PC– al situarlos en escenarios que requieren resolver problemas reales de forma creativa. Kokotsaki, Menzies y Wiggins (2016) realizaron una revisión de la literatura sobre ABP concluyendo que, cuando se implementa adecuadamente, el ABP suele conducir a mejor rendimiento académico en áreas STEM y a mayor desarrollo de habilidades transversales como PC y autonomía en el aprendizaje.

Los principios pedagógicos del ABP incluyen: (a) iniciar con una pregunta guía desafiante que los estudiantes deben responder; (b) fomentar la investigación activa los alumnos buscan información, realizan experimentos o encuestas, etc.; (c) interdisciplinariedad, integrando conocimientos de varias materias para abordar el proyecto; (d) trabajo en colaboración, usualmente en equipos donde se reparten roles y tareas; (e) creación de un producto tangible o presentable (maqueta, informe, vídeo, prototipo, exposición oral, etc.) que responda a la pregunta inicial; y (f) retroalimentación y reflexión durante y al final del proceso, para que los estudiantes revisen y mejoren su trabajo y tomen conciencia de lo aprendido (Larmer, Mergendoller & Boss, 2015). Estas características están diseñadas para emular procesos del mundo real y, por tanto, hacen que el aprendizaje sea más significativo.

Es importante distinguir el ABP de metodologías afines: por ejemplo, el Aprendizaje Basado en Problemas (Problem-Based Learning) comparte muchas características, pero suele aplicarse a problemas más acotados y con énfasis en que los estudiantes propongan una solución (muy usado en medicina, ingeniería, etc.), usualmente sin requerir un producto final público. El ABP, en cambio, a menudo abarca un alcance mayor y culmina con un producto/proyecto completo. También se diferencia del Aprendizaje por Proyectos tradicional en que el ABP actual pone énfasis en la pregunta orientadora y en la evaluación formativa del proceso, más que solo en el producto. En cualquier caso, todas estas metodologías se inscriben en los enfoques de aprendizaje inductivo o basado en la indagación (Prince & Felder, 2006), donde se parte de desafíos específicos para llegar a comprender principios generales.

La efectividad del ABP ha sido ampliamente estudiada. Como se mencionó en el estado del arte, se han documentado mejoras en PC asociadas a esta metodología además, investigaciones señalan beneficios en la motivación y participación del alumnado. Un estudio de Barrera, Venegas-Muggli e Ibacache (2022) en Chile reportó que estudiantes de secundaria mostraron mayor interés y mejoraron su rendimiento en ciencias al incorporar ABP en comparación con clases expositivas, atribuyendo este resultado al carácter práctico y colaborativo de los proyectos

Por otro lado, también se reconocen desafíos: la planificación de un buen proyecto requiere más tiempo y esfuerzo por parte del docente, quien debe diseñar la pregunta guía adecuada, prever recursos, administrar el tiempo y evaluar de manera diferente (no solo con pruebas estandarizadas). Capraro, Capraro y Morgan (2013) sugieren que para aprovechar al máximo el ABP, los docentes necesitan apoyo en forma de andamiajes (ej., guías, rubricas, formación) que les permitan sortear la complejidad inicial de esta metodología. En el texto de estos autores sobre el proyecto ABP en STEM, presentan modelos de proyectos integrados y afirman que el ABP bien desarrollado puede integrar con eficacia las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas; un aspecto del que se hablará en el apartado próximo.

El ABP se convierte en la propuesta didáctica central que adoptamos en la investigación que ahora se introduce. La propuesta se centrará, por tanto, en la temática del tratamiento del agua, una temática que conecta perfectamente con la realidad en la que viven. Realizar un ABP aquí supone que los estudiantes expondrán la situación del agua potable en la comunidad, se formularán cuestiones (ej. respecto a la calidad del agua o las técnicas de purificación), elaborarán y realizarán actividades (experimentos de filtración, encuestas de costumbres, elaboración de prototipos de filtro) y por último plantearán la solución (ej. un sistema simple de filtración, bien en la casa o en la escuela). Esta estrategia les servirá para poner en práctica contenidos curriculares de ciencias, como las propiedades del agua, las mezclas y las soluciones,

la biología si estudian microorganismos... de matemáticas, la medida y el tratamiento de datos; de tecnología, el diseño de un artefacto... y si abordan las implicaciones en la salud de la población o el contexto socioeconómico del acceso al agua, existe espacio para ciencias sociales. De este modo, el ABP se convierte en el instrumento que integra de forma coherente las distintas disciplinas STEM.

### **Estrategias pedagógicas activas para el aprendizaje STEM**

La enseñanza STEM implica la puesta en práctica de metodologías pedagógicas activas en las que el estudiante está en el centro del proceso de enseñanza y aprendizaje. En esta línea, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) está concebido como una metodología de enseñanza-aprendizaje activa, dinámica, inmersiva, centrada en el estudiante, donde los alumnos y las alumnas aprenden contenidos, habilidades y actitudes, interviniendo de forma activa en situaciones y actividades de la vida real, de manera que es una metodología que se ha consolidado desde hace tiempo como una de las estrategias pedagógicas principales en el marco de la educación STEM, ya que permite a los estudiantes/as poner en práctica lo aprendido mediante situaciones de la vida real, facilitando el despliegue de competencias prácticas, el pensamiento crítico y la solución de problemas.

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), es una forma de aprendizaje cooperativo que supone un nivel de aprendizaje profundo ya que el/la alumno/a tiene que sacar a relucir sus conocimientos para resolver situaciones cotidianas -su capacidad para potenciar el pensamiento crítico o la autonomía de alumnado es elevada-. Aprendizaje Basado en Retos (ABR), es una estrategia educativa en la que el alumnado estudia, analiza y ofrece soluciones a problemas que son del mundo real y tienen que ver con su entorno, de este modo viene conceptualizado: se articula en las fases del diagnóstico, la planificación, la aplicación y la evaluación del reto. El ABPr, como el ABR, también se identifican con la caracterización de minicursos para la formación de maneras avanzadas de desarrollar habilidades cognitivas. Preparar a los estudiantes para el mundo de las situaciones sociales y de trabajo es cada vez más complejo y se hace mayor la demanda de habilidades cognitivas y tecnológicas.

### **Conceptos STEM en el tratamiento de agua**

El tratamiento de agua ha sido un reto imperante a nivel mundial en tanto que remite a la sostenibilidad ambiental, la salud pública, la equidad social, etc. En el ámbito de la educación, la presentación de proyectos para el tratamiento del agua es un aprendizaje real siempre que se produzca una

relación entre el estudiante y una cuestión con sentido y válida en su entorno inmediato. Desde una educación STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), este tema se erige como un espacio de integración de conocimientos disciplinares, de algún tipo de investigación, de implementación de algo práctico, que destaca el desarrollo del PC y de otras competencias del siglo XXI (Tovar, 2019).

En un primer momento, se puede, en un sentido amplio, solicitar el tratamiento de agua también como un procedimiento que elementalmente incorpora aristas químicas, físicas y biológicas, cuyo propósito es eliminar contaminantes y patógenos, además de asegurar la disponibilidad de un recurso indispensable para la vida humana y el equilibrio ecosistémico. La UNESCO (2017) hace al respecto hincapié, indicando que la educación para el desarrollo sostenible debe, entre otras finalidades, tomar en consideración la protección de los recursos hídricos mediante programas que propicien la comprensión de los procesos de purificación y la responsabilidad por la gestión del agua con las comunidades. En este sentido, la apuesta por el trabajo de proyectos de tratamiento de agua en la escuela no solo puede hacer que los alumnos se familiaricen con conceptos científicos, sino que, además, abre la participación de los estudiantes en la reflexión del impacto de la actividad humana en el ambiente mediante una profundización sobre la conciencia ambiental y el compromiso social vinculados con la sostenibilidad.

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se configura como un método de enseñanza con un gran nivel de calidad para trabajar la temática del tratamiento de agua, ya que su enfoque se centra en la resolución de problemas reales y la participación activa del alumnado (Bell, 2010). Con la metodología ABP, se favorece la investigación así como la experimentación de diversas maneras de purificar o filtrar agua, el diseño de prototipos para el tratamiento de agua o la planificación de cómo optimizar la distribución de este recurso. A la vez, el ABP facilita el proceso de toma de decisiones fundamentadas, a la vez que motiva al alumnado a validar críticamente la solución propuesta, considerando variables técnicas y socioeconómicas.

La transversalidad del tratamiento de agua provoca que las disciplinas STEM queden unidas de una manera holística. Al abordar los proyectos de química, se contemplan registros relativos al pH, mediciones de metales tóxicos y presencia de clientes tales como bacterias, entre otros. Desde el enfoque de la tecnología y/o de la ingeniería, se revisan las características de los diferentes dispositivos o mecanismos, ya sean filtros caseros, plantas de tratamiento a escala comunitaria y/o de forma industrial, se incluyen herramientas para controlar la calidad del agua. La matemática se hace presente en la medición, en recoger datos y análisis estadístico de resultados, lo que permite interpretar variables que son claves para valorar el impacto de las intervenciones que se proponen (Capraro, Capraro & Morgan, 2013).

En el ámbito del pensamiento crítico el tratamiento de agua facilita el desarrollo de habilidades de observación, análisis, reflexión y/o valoración (Paul & Elder, 2019). La indagación en torno a distintos métodos, la comparación de sus costes-efectos, la construcción de prototipos solapando solución práctica requieren de los aprendientes un razonamiento complejo sirviéndose de estándares intelectuales (Paul & Elder, 2019). De la misma forma, las discusiones grupales, la resolución de conflictos y la divulgación mediante exposiciones potencian competencias como la argumentación o la expresión comunicativa asertiva (Halpern, 2014). Conformemente, un enfoque vygotskiano (Vygotsky, 1978) respecto a los proyectos del tipo de los que se ocupan los autores de este texto pone mucho énfasis en la dimensión social de este tipo de proyectos y estimula la co-construcción del conocimiento haciendo que los aprendientes sean capaces de compartir experiencias, comentarios, críticas constructivas en el trabajo en grupo, etc.

Por otra parte, el desarrollo de proyectos de tratamientos de agua para el nivel de secundaria colabora en la capacitación de jóvenes para comprenderlos y enfrentarlos. En numerosos pueblos, en particular en los rurales o semirurales, las dificultades en la potabilización y distribución del agua son frenos y limitaciones en los propios procesos de desarrollo económico y social (Larmer, Mergendoller & Boss, 2015). El escenario es idóneo en este sentido, ya que permite unir las experiencias de los estudiantes y la experiencia comunitaria respecto a las fuentes de agua en su entorno y, quizás, prácticas tradicionales de manejo o potabilización (que estaría conectado con el concepto de los Fondos de Conocimientos, Moll et al., 1992), con los conocimientos científicos y tecnológicos de carácter más formal. Esta relación puede incluso ofrecer una oportunidad para poder generar aprendizajes más genuinos y profundos y, a la vez, puede conducir a una reflexión crítica sobre la validez y complementariedad de diferentes tipos de sistemas de conocimiento. Hacer que el alumnado participe en proyectos que pretenden resolver problemas prácticos respecto de los citados permite otorgar un significado a la educación, además de garantizar la relación del aprendizaje con una necesidad que va más allá de las paredes del aula. De tal forma, además se fomenta empatía y servicio, lo que redunda en la configuración de valores ciudadanos.

En conclusión, la temática del tratamiento de agua como espacio de aprendizaje brinda la combinación o bien la mezcla o bien el binomio ideal entre relevancia social y potencialmente educativo. De este modo, la inclusión de una temática como el tratamiento de agua en ABP-STEM permite el vínculo entre contenido curricular y realidad, de forma que esta enseñanza deviene más atractiva para el alumnado y propicia la aparición de nuevas competencias en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, además de promover el desarrollo de pensamiento crítico, sensibilidad ambiental y algunas competencias ciudadanas que, sin duda, son necesarias para formar un grupo de jóvenes que puedan también afrontar los



retos en materia de sostenibilidad y justicia social. En definitiva, el tratamiento de agua, como se ha dicho, constituye un espacio de aprendizaje integral donde la indagación, la experimentación y la reflexión se unen por la consecución de una educación más profunda.

## **Marco conceptual**

### **El problema del Agua**

A partir de esta problemática de impacto social y medioambiental, se inicia el estudio al que se ha dado cuerpo y objeto de estudio. En este marco, la enseñanza se entiende como un proceso encaminado a que el alumnado adquiera un papel de protagonista en la identificación y resolución de problemas reales, el cual cierre el espacio entre el conocimiento científico y su aplicación científica.

#### ***a) Tratamiento de agua***

Con el tratamiento de agua se hace referencia al conjunto de procedimientos físicos, químicos y biológicos que permiten eliminar contaminantes del agua para que la misma sea apta para el consumo humano, el uso agrícola o la vuelta al medio ambiental de una manera segura (Saravia et al., 2022). Este concepto juega un papel central en el presente proyecto, ya que el tratamiento de agua es el eje articulador de la metodología ABP-STEM. Mediante la identificación de problemáticas del propio entorno en lo que respecta al abastecimiento o a la contaminación del agua, los estudiantes diseñan, investigan, crean modelos y proponen soluciones técnicas que son aplicables a su propio entorno.

### **ABP: El motor del aprendizaje**

#### ***a. Aprendizaje Basado en Proyectos***

El ABP se erige como el motor que mueve el propio proceso, lo cual se debe a que es un modelo pedagógico en el cual los propios estudiantes se encuentran en disposición de investigar y resolver una pregunta o un problema auténtico durante el desarrollo de un proceso estructurado, que da como resultado un producto acabado o la realización de una presentación pública (Recalde et al., 2024). En el ABP se presentan, además, fases de contextualización del reto, planificación de la investigación, desarrollo de soluciones y evaluación colaborativa de resultados donde el docente actúa como facilitador y orientador, mientras que los alumnos diseñan sus experimentos, recopilan datos e informan de sus resultados, propiciando el pensamiento crítico así como habilidades técnico-científicas (Carbajal, 2025).

***b. Proyecto pedagógico***

Un proyecto pedagógico es un conjunto coherente de actividades educativas planificadas y entrelazadas, orientadas hacia el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje mediante la elaboración de un producto o la investigación de una concreta (Gómez & Wiest, 2020). Así mismo, se estructura en fases: definición de objetivos, diseño de actividades, ejecución de tareas, socialización de los resultados y retroalimentación formativa (Carrillo, 2001).

***c. Metodologías activas***

Las metodologías activas son vistas como esquemas de intervención didáctica en los que es el alumno quien desempeña el papel principal, pues participa de forma directa en la construcción de su propio contenido de aprendizaje mediante actividades que implican análisis, diálogo y toma de decisiones (Guaita, 2024). Todos estos métodos son una antítesis de la tradicional clase magistral, mediante prácticas como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), el Aprendizaje Basado en Problemas, el aprendizaje cooperativo que favorece la interdependencia positiva y la responsabilidad individual, y la gamificación que pone en juego mecánicas de juego para la motivación (Fernández & Abellán-Roselló, 2022).

**Enfoque STEM y las competencias del siglo XXI**

***a) Educación STEM***

La educación STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) es una educación integrada que plantea la enseñanza conjunta de estas dimensiones y que no defiende su tratamiento excluyente y fragmentado (Castro et al., 2020). En este sentido, el objetivo de la educación STEM es formar un perfil de alumno que se pueda responder a problemas reales desde una perspectiva interdisciplinar, diseñando posibilidades de respuesta que sean originales y válidas, mediante evidencias tanto científicas como técnicas (Marín-Ríos et al., 2023).

***b) Competencias del siglo XXI***

Las competencias del siglo XXI son habilidades privilegiadas que facultan a las personas para actuar con espíritu como el crítico, innovador y cooperativo de un contexto mundano caracterizado por el habitual transcurrir de las cosas, la globalización y el cambio de las tecnologías (Montenegro & Maza Guaicha, 2025). Incluye competencias, cualidades y habilidades mentales cognitivas (pensamiento crítico, resolución de problemas...) y habilidades sociales, comunicativas, digitales y emocionales como son la

cooperación e innovación, el liderazgo, la adaptabilidad o el tratamiento de información (López & Abad, 2025).

### **Fortalecimiento Pensamiento Crítico**

#### ***a. Pensamiento Crítico***

El pensamiento crítico es una habilidad básica de la educación STEM en tanto que permite al estudiante un análisis lógico y objetivo de los problemas, poder criticar la información y formular una decidida postura sobre el problema (Cano & Álvarez, 2020). De acuerdo con lo mencionado en el trabajo de Benavides & Ruíz (2022), el pensamiento crítico requiere pasar por un proceso cognitivo engorroso, ya que involucra las habilidades de análisis, inferencia, interpretación y evaluación de evidencias. Prieto-Galindo (2018) también lo define como la facultad de reflexionar de forma clara y profunda al abordar cualquier tema o problema, logrando que la calidad de su propio pensamiento sea mejorada progresivamente por la autoconciencia y la autorregulación.

### **Contexto Educativo**

#### ***a. Educación secundaria***

La educación secundaria es el nivel medio del sistema educativo, situado entre la educación básica primaria y la superior. En el caso de Colombia, comprende los grados de 6.º a 11.º y está dirigida a estudiantes de entre 12 a 18 años de edad; la educación secundaria tiene como propósito básico la consolidación de aprendizajes importantes, así como la elaboración de competencias científicas, comunicativas y tecnológicas y la preparación de la juventud para la vida laboral, ciudadana y académica (MEN, 2024).

#### ***b. Zona rural***

La zona rural es un espacio geográfico con baja densidad poblacional, escasa infraestructura, limitada conectividad y una economía centrada en la agricultura, ganadería y otros sectores primarios. Las escuelas rurales colombianas, enfrentan desafíos específicos relacionados con el acceso a recursos educativos, tecnologías, servicios públicos y formación docente (Ramírez, 2024). Por lo tanto, en estos contextos, los enfoques educativos como STEM, adaptados a las necesidades y posibilidades del entorno rural, pueden convertirse en herramientas poderosas para empoderar a los estudiantes y desarrollar soluciones innovadoras que impacten positivamente su comunidad.

### Marco legal y normativo

El desarrollo del proyecto está enmarcado por una serie de normas nacionales para la educación básica secundaria como competencias científicas, ciudadanas y ambientales; en un marco en el que la Constitución Política de Colombia (1991) reconoce los derechos a la educación y las obligaciones de proteger el ambiente, lo cual da soporte al desarrollo de prácticas pedagógicas es importante que se realice la integración de principios ABP (Aprendizaje Basado en Proyectos) y STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) a partir del tratamiento del agua como problema del contexto.

Por el contrario, la Ley General de Educación (Ley 115 de 1994) también promueve una formación integral donde se infiere el desarrollo, por una parte, del pensamiento crítico y por otra, una participación activa en la búsqueda de solución a problemáticas propias del contexto local. Además, la Ley 1549 de 2012 establece los lineamientos de la educación ambiental, los cuales son coherentes con el objetivo del proyecto al abordar el recurso hídrico como eje pedagógico.

En este marco, también se incorporan los Estándares Básicos de Competencias del Ministerio de Educación Nacional y la Política Pública Nacional de Educación STEM+ como referentes para integrar la ciencia y la tecnología con fines educativos y sociales (Ministerio de Educación Nacional [MEN], 2006). Asimismo, el proyecto se articula con los propósitos del Decreto 1860 de 1994 sobre la organización del currículo, fortaleciendo la interdisciplinariedad y la vinculación de saberes en contextos reales

A continuación, se realiza una síntesis del estado legal y normativo el cual se presenta de manera normográfica utilizando la siguiente matriz:

**Tabla 2.** Matriz Marco Legal y Normativo, elaboración propia.

Ley o norma	Año	Descripción general	Artículo(s) que aplican	Aplicabilidad para el proyecto
Constitución Política de Colombia	1991	Norma superior que garantiza el derecho a la educación y la protección del ambiente.	Art. 67, Art. 78, Art. 79	Fundamento para trabajar el derecho a una educación de calidad y el deber de proteger el agua como recurso natural.
Ley 115 - Ley General de Educación	1994	Regula la educación en Colombia, promueve la formación integral del	Art. 5, 14, 23, 31	Permite integrar el enfoque ABP-STEM en el currículo escolar para abordar temas como el tratamiento del agua

		estudiante y el desarrollo de competencias básicas.		desde una perspectiva educativa.
Decreto 1860	1994	Reglamenta la organización del currículo y los proyectos pedagógicos.	Art. 14, 34, 36	Soporte legal para integrar proyectos interdisciplinarios como el tratamiento del agua en la planificación institucional.
Ley 1549 - Educación Ambiental	2012	Establece la educación ambiental como parte del desarrollo sostenible en todos los niveles de educación formal.	Art. 1 al 4	Sustenta la inclusión de temáticas ambientales como el agua y su tratamiento en propuestas pedagógicas.
Estándares Básicos de Competencias (MEN)	2006	Documento técnico que orienta el desarrollo de competencias en ciencias, matemáticas y ciudadanas.	—	Base para diseñar actividades STEM orientadas al desarrollo del pensamiento crítico mediante problemáticas reales.
Política Nacional de Educación STEM+ (MEN)	2022	Lineamientos para promover la enseñanza integrada de ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas y artes en el sistema educativo colombiano.	—	Da legitimidad a la implementación de estrategias pedagógicas STEM dentro del aula en temas transversales como el recurso hídrico.

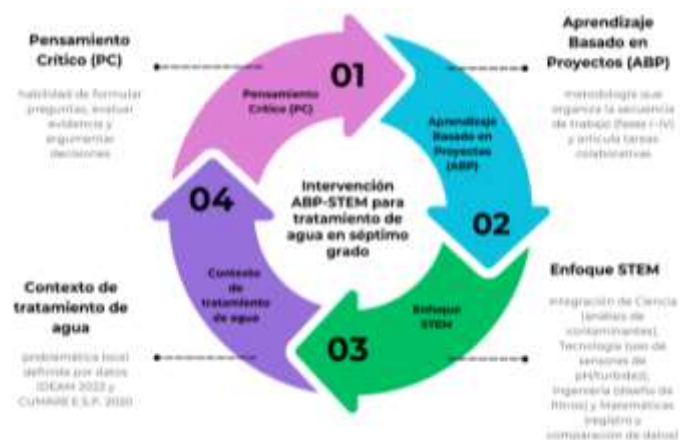
### Marco metodológico

El presente estudio se enmarca en un enfoque cualitativo con un diseño de Investigación y Desarrollo (según Tovar, 2017), cuyo alcance es el diseño de una estrategia pedagógica y su posterior validación de su contenido por juicio de expertos. El desarrollo metodológico se estructura en un diseño secuencial por fases, lo que permite articular el enfoque teórico, el diseño pedagógico y la validación empírica de manera coherente y sistemática, en ese caso, esta estructura en fases garantiza que cada momento del proyecto desde la revisión teórica y el diagnóstico inicial, hasta la validación por juicio de expertos y el análisis de resultados, se ejecute con criterios claros a un buen nivel académico y pertinencia contextual. De esta forma, el procedimiento metodológico integra las exigencias del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con enfoque STEM y el método de validación de contenido de Lawshe, asegurando que la propuesta final responda a los objetivos de la presente investigación, mientras se cuenta con sustento técnico y científico para su implementación en el contexto escolar de Saravena, Arauca.

### Categorización de la realidad a abordar

La presente investigación se enfoca en el diseño y validación académica de una estrategia pedagógica contextualizada en las dinámicas de aula de la Institución Técnica Comercial José Eustasio Rivera, ubicada en Saravena (Arauca). Como se observa en la Figura No. 2 se han identificado cuatro categorías de análisis fundamentales para el diseño de la estrategia.

*Figura 2. Categorías de Análisis, elaboración propia.*



Como se observa en la Figura 2, estas categorías se describen de la siguiente manera:

- **Pensamiento Crítico (PC):** habilidad de formular preguntas, evaluar evidencia y argumentar decisiones; en este proyecto se mide a través de la calidad de las preguntas guía, la coherencia de los protocolos de trabajo (entrevistas, experimentos) y la argumentación en informes y presentaciones.
- **Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP):** metodología que organiza la secuencia de trabajo (fases I–IV) y articula tareas colaborativas; aquí se entiende como el marco que estructura la investigación de campo, el prototipado y la validación comunitaria.
- **Enfoque STEM:** integración de Ciencia (análisis de contaminantes), Tecnología (uso de sensores de pH/turbidez), Ingeniería (diseño de filtros) y Matemáticas (registro y comparación de datos); se operacionaliza en los entregables de cada subfase (diagramas de flujo, tablas de resultados, plan de mejora).
- **Contexto de tratamiento de agua:** problemática local definida por datos IDEAM 2022 y CUMARE E.S.P. 2020, que orienta la elección de materiales locales (arena, carbón, grava) y los objetivos de potabilidad del filtro.

Cada categoría se incorpora explícitamente en las actividades desde la formulación de la pregunta guía hasta la reflexión metacognitiva, de modo que sean variables observables y evaluables en el desarrollo y resultados del proyecto.

### **Enfoque de investigación**

El estudio adopta un enfoque mixto, de carácter descriptivo y exploratorio, ya que permite combinar el análisis cualitativo de los aportes contextuales y pedagógicos con la medición cuantitativa derivada del proceso de validación de contenido, en ese sentido, esta naturaleza metodológica exige una organización del trabajo en fases secuenciales, ya que cada etapa responde a un propósito específico y genera insumos fundamentales para la siguiente. Así, la revisión teórica y el diagnóstico inicial orientan el diseño de la estrategia ABP-STEM; el desarrollo de instrumentos de validación sustenta el rigor técnico; y la aplicación del método de Lawshe asegura la pertinencia y coherencia interna de la propuesta, asimismo, esto fortalece la validez de los resultados mientras favorece la trazabilidad del proceso, haciendo que la estrategia pedagógica responda a las necesidades reales del contexto escolar de Saravena, Arauca.

En esa línea, la presente investigación adopta un paradigma de Diseño de Investigación (Design-Based Research, DBR) orientado al desarrollo, la co-construcción participativa y la validación técnica de una estrategia pedagógica ABP-STEM para el tratamiento de agua. Por un lado, el DBR es apropiado para

estudios que buscan iterativamente diseñar, implementar y refinar soluciones educativas reales en contextos naturales, ya que combina la generación de conocimiento teórico con la mejora práctica del diseño instruccional mediante ciclos de intervención, evaluación y ajuste

Desde un punto de vista metodológico se plantea un enfoque mixto con predominio cualitativo en las primeras etapas (diseño y co-construcción) y componentes cuantitativos en la fase de validación. Concretamente, la investigación se estructura en dos etapas interrelacionada

En una primera etapa, se recogen aportes de docentes de la I.T.C. José Eustasio Rivera, expertos en STEM mediante grupos focales estructurados y revisión documental de guías ABP y buenas prácticas STEM en contextos rurales. Este insumo alimenta la elaboración de un primer prototipo de la guía didáctica, que incluye objetivos de aprendizaje, secuencia de actividades, rúbricas de evaluación y fichas técnicas de materiales locales. En una segunda etapa, dicho borrador es sometido a un panel de validación de contenido conformado por expertos (docentes de ciencias), quienes aplican el método de Lawshe para calcular el Índice de Validez de Contenido de cada uno de los componentes de la estrategia (ver Anexo A).

Para la validación de la estrategia pedagógica se empleará el método de Lawshe (1975), ampliamente reconocido para determinar la pertinencia de los componentes de un instrumento o propuesta didáctica. Por ello, este procedimiento se basa en el juicio de expertos, quienes evalúan cada ítem o componente de la estrategia en tres categorías:

- Esencial: el ítem es indispensable para el logro de los objetivos de la estrategia.
- Útil pero no esencial: el ítem es relevante, aunque no imprescindible.
- No esencial: el ítem no aporta a la estrategia o puede eliminarse.

A partir de estas valoraciones se calcula el Índice de Validez de Contenido (CVR, Content Validity Ratio), cuya fórmula es la siguiente:

$$CVR = \frac{N_e - (N/2)}{(N/2)}$$

Donde:

- $N_e$  es el número de expertos que consideran el ítem “esencial”
- $N$  el número total de expertos

El CVR oscila entre -1 y +1; lo que significa que valores positivos indican que más de la mitad de los expertos consideran el ítem esencial, mientras que los negativos muestran acuerdo en la falta de

esencialidad. Además, para determinar si un ítem se acepta o se elimina, el valor obtenido se contrasta con la tabla de valores críticos de Lawshe, ajustada al tamaño del panel de expertos (ver Anexo B) y aquellos ítems cuyo CVR sea igual o superior al valor crítico se aceptan como válidos; los que estén por debajo se revisan o eliminan, teniendo también en cuenta las observaciones cualitativas de los jueces.

Finalmente, se calculará un índice de validez global de la estrategia mediante el CVI (Content Validity Index), promediando los CVR aceptados, donde un CVI igual o superior a 0,62 se considera evidencia sólida de validez de contenido.

### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación del presente estudio se configura bajo un diseño de investigación y desarrollo (I+D), cuya finalidad es construir, ajustar y validar una solución pedagógica concreta antes de su posible implementación. La primera, de diseño participativo, contempla la articulación entre docentes de la I.T.C. José Eustasio Rivera, expertos en metodologías ABP-STEM de Saravena en talleres colaborativos. Durante estos encuentros, se co-construyen los componentes esenciales de la estrategia (objetivos de aprendizaje, secuencia de actividades, rúbricas de evaluación y fichas técnicas de los materiales locales), con el fin de garantizar que cada elemento responda a necesidades reales del contexto educativo y a las particularidades del tratamiento de agua en la región. Asimismo, los borradores resultantes se someten a sucesivos ciclos de retroalimentación, donde se revisa su claridad, coherencia interna y factibilidad operativa.

La segunda fase corresponde a la validación de contenido, en la que el prototipo de la estrategia es sometido a revisión por parte de un panel de expertos con el propósito de recabar evidencia empírica sobre su usabilidad, pertinencia y capacidad para promover el pensamiento crítico y las competencias STEM. Por lo tanto, al adoptar un enfoque de investigación y desarrollo (I+D) desde una perspectiva cualitativa, esta investigación garantiza que la estrategia además de ser teóricamente sólida también sea validada en términos de su aplicabilidad futura, adecuación al contexto y satisfacción de los actores educativos consultados, lo que la convierte en una propuesta para ser implementada o replicada en escenarios con características similares.

### **Tipo de estudio**

Tomando como referencia el paradigma del Design-Based Research (DBR), este trabajo se enmarca como un estudio aplicado y de desarrollo (research-and-development, R&D) orientado a la co-construcción, implementación iterativa y validación técnica de una estrategia pedagógica ABP-STEM

para el tratamiento del agua. El DBR es apropiado porque permite diseñar soluciones educativas en contextos naturales y simultáneamente generar conocimiento teórico-práctico mediante ciclos de diseño, implementación, evaluación y ajuste.

En su dimensión de desarrollo, se realiza un ciclo iterativo de diseño y validación de contenido por expertos, que culmina en un protocolo pedagógico listo para implementación futura. De esta manera, el estudio contribuye a la literatura sobre aprendizaje basado en proyectos y metodologías STEM en contextos rurales, y entrega un kit completo de materiales y procedimientos listos para su implementación y replicación en instituciones educativas con desafíos análogos

### **Técnicas de recolección**

Para validar el diseño de la estrategia pedagógica ABP-STEM centrada en el tratamiento de agua y el fortalecimiento del pensamiento crítico se recurrirá a una revisión experta estructurada; donde se conformará un panel intencional de expertos ( $N = 10$ ) seleccionados según criterios explícitos de experiencia, formación y rol. A cada experto se le remitirá un formulario de validación acompañado de espacios para observaciones cualitativas.

Por otra parte, los resultados cuantitativos (número de expertos que consideran cada ítem “esencial”,  $n_e$ ) permitirán calcular el CVR (Lawshe) por ítem y la S-CVI/Ave a nivel de guía; simultáneamente, las observaciones cualitativas orientarán la reformulación de ítems. Toda la información quedará registrada en una matriz de validación (ítem /  $n_e$  /  $N$  / CVR / I-CVI / decisión / observaciones), lo que garantiza transparencia y trazabilidad en la toma de decisiones sobre aceptación, revisión o eliminación de componentes de la guía (ver Anexo C).

En ese sentido, se usan rúbricas de evaluación del pensamiento crítico, diseñadas para valorar la calidad de las preguntas guía formuladas por los estudiantes, la solidez de sus argumentaciones y la coherencia de los informes producidos durante el desarrollo de las actividades (ver Anexo D). De forma complementaria, se utilizarán listas de cotejo (ver Anexo E) como instrumentos de referencia metodológica, orientadas a registrar el cumplimiento de los pasos propuestos por la metodología ABP y el uso adecuado de herramientas científicas (como sensores de pH o turbidez), lo que permitirá observar la apropiación del enfoque STEM y la aplicación de conocimientos científicos en situaciones prácticas. Por otra parte, se utilizaría en este punto, la ficha técnica de actividad (ver Anexo F), que sintetiza una serie de objetivos, fases, recursos, tiempos y criterios de evaluación que corresponden a cada actividad de la

estrategia, el cual es significativo en la medida en que permite estandarizar la implementación y sirve como guía para la revisión experta del diseño pedagógico.

Por lo tanto, estas rúbricas se diseñaron siguiendo los lineamientos de evaluación educativa propuestos por Popham (2014) y Andrade (2005), en el sentido que presentan la rentabilidad de ayudar a establecer la alineación entre los objetivos de aprendizaje y las actividades y la evaluación, además de brindar retroalimentación clara y objetiva a los estudiantes. La Rúbrica de Validación Académica (RVA-ABP-STEM) se diseñó teniendo como referentes marcos teóricos y metodológicos ampliamente consensuados tanto internacionalmente como a nivel nacional. En primer lugar, se adaptaron los criterios y niveles progresivos de la VALUE Critical Thinking Rubric de la Association of American Colleges and Universities (2010), y la Holistic Critical Thinking Scoring Rubric (HCTSR) de Facione y Facione (2011), a partir de los que se pueden evaluar de forma sistemática la argumentación, la interpretación de evidencias y el pensamiento crítico en los distintos contextos educativos.

De igual forma, se consideró la experiencia del Ministerio de Educación de Chile (2019), que describe la experiencia de rúbricas estandarizadas para el desarrollo y evaluación del pensamiento crítico en proyectos de aula, como parte de la enseñanza y la metodología ABP en educación secundaria. Por último, se incorporaron los criterios metodológicos descritos por Herce-Palomares et al. (2022), quienes validaron los instrumentos de medición de iniciativas STEM desde el juicio de expertos, garantizando la importancia y la validez de contenido. Esta integración teórico-metodológica evidencia que la RVA-ABP-STEM (ver Anexo A) sea coherente, contextualizada y metodológicamente relevante, permitiendo su uso como herramienta confiable para la evaluación y mejora de la estrategia en la I.T.C. José Eustasio Rivera.

Adicionalmente, se aplicaría el método de validación de contenido de Lawshe, mediante la construcción de matrices de evaluación que serán diligenciadas por un panel de expertos en ciencias, pedagogía y actores del contexto local. Con estas matrices, se calculará el Índice de Validez de Contenido (IVC) para cada componente de la propuesta (objetivos, actividades, instrumentos de evaluación), lo cual permitirá realizar ajustes y mejoras fundamentadas (ver Anexo A y C). Por consiguiente, la validación de contenido se llevará a cabo mediante el método propuesto por Lawshe (1975) el cual es ampliamente reconocido dentro del ámbito educativo debido a su utilidad para determinar la relevancia y claridad systems a partir del juicio de expertos; en ese sentido, el procedimiento permite obtener el índice de validez de contenido (IVC) a través del cálculo del content validity ratio (CVR), lo que facilita identificar de forma estable aquellos componentes que deben conservarse, modificarse o descartarse.

Como tal, su solidez metodológica es reafirmada por revisiones estadísticas posteriores, como las de Wilson et al. (2012), quienes precisan que los valores críticos se utilizan para distintos tamaños de panel, y por aplica canciones en contextos educativos diversos; además, estudios como el de Pearl y Duerr (2018) y Masuwai et al. (2024), quienes evidenciaron su eficacia para validar instrumentos pedagógicos en diferentes niveles de enseñanza. Además, Romero et al. (2023) subrayan que este método continúa siendo una referencia central en ciencias sociales y en educación debido a su capacidad para sustentar decisiones basadas en criterios y objetivos.

De manera complementaria, se solicitará a los expertos la participación en la validación de la propuesta, con el fin de recoger observaciones y recomendaciones sobre los ítems propuestos y de esa manera se podrá garantizar que la propuesta resultante pueda ser aplicable y adaptable en contextos rurales con recursos limitados. Para organizar y sistematizar los juicios del panel de expertos, se construyó la matriz de criterios de análisis (MAC-ABP-STEM), la cual operación analiza los elementos de la rúbrica mediante indicadores observables, evidencia cualitativa y reglas de decisión que permiten priorizar los ajustes de manera fundamentada. En esa línea, la elaboración de las herramientas se sustentan en principios de diseño instrumental y evaluación educativa; ya que responden a las recomendaciones de desarrollar herramientas alineadas con objetivos claros, medibles y contextualizados, en consonancia con el enfoque MEASURE de Kalkbrenner (2021), el cual enfatiza la importancia de definir con precisión el propósito del instrumento al incluir una revisión experta y ampliar su desayuno un marco teórico empírico que garantiza la validez y la aplicabilidad.

Para la validación del proyecto, los expertos dispusieron de un instrumento detallado que consistía en una matriz de 20 ítems. Cada uno de estos ítems era evaluado simultáneamente bajo dos metodologías: primero, mediante una escala Likert de 5 puntos (donde 1 era "Muy en desacuerdo" y 5 "Muy de acuerdo"), y segundo, aplicando el método Lawshe, donde el experto debía definir si el componente era "Esencial", "Útil pero no esencial" o "No esencial". Estos 20 ítems estaban agrupados en siete dimensiones principales: Coherencia interna, Pertinencia pedagógica, Viabilidad contextual y logística, Evaluación y métricas, Calidad y usabilidad de la documentación, Sostenibilidad y escalabilidad, e Innovación y ajuste al contexto. El formato también incluía apartados específicos para recomendaciones cualitativas, permitiendo a los expertos añadir "Observaciones y/o recomendaciones" concretas en cada ítem, y finalizaba con una sección de "valoración global" donde debían emitir una recomendación final, como "Aprobar con ajustes menores" o "Rechazar".

Además, Cook & Hatala (2016) destacan que la validez de un instrumento proviene en la coherencia entre su construcción, el uso previsto y la evidencia empírica recogida sobre su interpretación y decisiones derivadas, es así que, los estándares del Joint Committee on Standards for Educational Evaluation subrayan que los instrumentos deben tener criterios explícitos, ser factibles, y estar respaldados tanto técnico como contextualmente para garantizar su utilidad y credibilidad. En este sentido, la MAC-ABP-STEM operacionaliza cada dimensión en indicadores, evidencia y reglas explícitas de acción (ver Anexo B), mientras que la FTA-ABP-STEM documenta cada actividad con criterios replicables y vinculados a competencias STEM y de pensamiento crítico (ver Anexo C), alineándose así con estas bases teóricas y normativas.

### **Procedimiento: fases o momentos definidos para desarrollar el proyecto**

El desarrollo del proyecto se organiza en cinco fases principales, cada una con objetivos y acciones específicas, alineadas con el propósito central de diseñar y validar una estrategia pedagógica ABP-STEM contextualizada en la problemática del tratamiento de agua:

- **Fase 1: Revisión teórica y diagnóstico**

Para fundamentar teóricamente la estrategia y caracterizar el contexto escolar y territorial se llevará a cabo una revisión sistemática y una síntesis documental donde se definirán bases y términos de búsqueda; la información recolectada (estudios sobre ABP, STEM/STEAM, evaluación del pensamiento crítico, experiencias de enseñanza del agua y guías técnicas locales como informes de IDEAM y CUMARE). Por lo tanto, el producto de esta fase será un informe diagnóstico y una lista de criterios de diseño (duración mínima de la unidad, indicadores de desempeño, limitaciones logísticas) que alimentarán de manera directa el diseño.

### **Fase 2: Diseño de la Estrategia ABP-STEM.**

La fase de diseño tiene como propósito transformar los criterios y hallazgos del diagnóstico en una propuesta pedagógica operativa y contextualizada: una guía ABP-STEM articulada en secuencias de aprendizaje, materiales y rúbricas que permitan promover pensamiento crítico en el tratamiento del agua. El proceso se desarrolla de manera iterativa y colaborativa, siguiendo una secuencia lógica de actividades que garantiza rigor pedagógico y usabilidad práctica.

- A) Definición de metas y resultados de aprendizaje
- B) Generación de la visión del proyecto y preguntas guía

- C) Mapeo curricular y alineación STEM
- D) Diseño de la secuencia didáctica por fases
- E) Prototipado de materiales y actividades (low-fidelity - high-fidelity)
- F) Construcción de rúbricas y criterios de evaluación
- G) Revisión con los expertos académicos
- H) Documentación de la primera versión

### **Fase 3: Desarrollo de Instrumentos de Validación.**

Los componentes de la guía prototipo se operacionalizarán en ítems evaluables mediante un proceso riguroso y sistemático que desemboca en el paquete de validación destinado directamente al panel de expertos. En primer lugar, se realizará un mapeo ítem - competencia para transformar cada actividad, protocolo y rúbrica en enunciados concretos y unívocos como, por ejemplo, claridad y secuencia del protocolo de medición de turbidez; adecuación pedagógica de la actividad de prototipado. A partir de ese mapeo se construirá el formulario de validación por ítem, que incluirá: enunciado, breve justificación del propósito, escala de valoración de Esencia, Útil pero no esencial y No esencial, y un espacio para observaciones cualitativas y recomendaciones prácticas (ver Anexo A).

Asimismo, el instrumento incorporará instrucciones sobre el proceso (plazo de respuesta, criterios para el juicio, formato de devolución) y ejemplos resueltos que orienten la valoración. Antes del envío se efectuará una revisión interna por parte del equipo investigador para depurar redacciones ambiguas y garantizar la coherencia del paquete; además, el producto de esta fase consistirá en:

- (a) el formulario final listo para remitir
- (b) la guía de instrucciones para experticia
- (c) la plantilla de la matriz de validación (Ítem |  $n_e$  | N | CVR | I-CVI | Decisión | Observaciones) que servirá para el registro y posterior análisis del consenso (ver Anexo C)

### **Fase 4: Validación por Juicio de Expertos.**

El prototipo de la estrategia diseñada es sometido a un proceso de validación de contenido mediante el método de Lawshe, aplicado por un panel de expertos en ciencias, pedagogía, metodologías activas y actores del contexto local. Esta fase se centra en evaluar la pertinencia, coherencia interna, claridad, y factibilidad de implementación futura; en ese caso, se utilizarán matrices evaluativas y rúbricas para registrar los juicios expertos.

Se conformará un panel intencional de expertos recomendado entre 8 y 12 participantes (en este caso se trabajará con 10 expertos), seleccionados bajo criterios de experiencia en educación STEM/ABP, formación de posgrado, experiencia en evaluación/instrumentos y representación local. La elección de este rango se justifica porque con un número reducido de expertos (menos de 8) las valoraciones tienden a ser poco representativas, mientras que con un número muy grande (más de 12) se incrementan los tiempos y costos sin aumentar significativamente la precisión.

El método de Lawshe establece que el valor crítico del CVR depende directamente del número de expertos (N). Esto ocurre porque el CVR refleja el porcentaje mínimo de acuerdo necesario para que un ítem sea considerado válido. Por ejemplo:

- Con 5 expertos, se exige que el 100% (5 de 5) lo califiquen como esencial (CVR crítico = 0.99).
- Con 10 expertos, se requiere al menos el 80% (8 de 10) de acuerdo para que un ítem sea válido (CVR crítico = 0.62).
- Con 15 expertos, el mínimo baja al 73% (11 de 15) (CVR crítico = 0.49).

De esta manera, mientras más expertos participan, menor es el porcentaje de consenso estricto que se requiere, porque el mayor tamaño del panel ofrece más estabilidad estadística.

### **Fase 5: Análisis de Resultados y Propuesta Final.**

Se integrarán los resultados cuantitativos (CVR, I-CVI, S-CVI) con el análisis cualitativo de los comentarios para priorizar ajustes (seguridad, factibilidad, coherencia curricular y claridad). En ese caso, las modificaciones se documentarán versión por versión y se aplicarán a la guía, fichas y rúbricas; se elaborará la versión final validada acompañada del anexo metodológico (matriz completa de validación, tabla de valores críticos de Lawshe, actas de consenso y manual breve de implementación). Además, se consignará en el informe qué cambios derivaron del juicio experto, garantizando así la trazabilidad entre validación académica y viabilidad en aula.

### **Producto o resultado esperado**

El resultado central del proyecto es el diseño validado de una estrategia pedagógica ABP-STEM centrada en el tratamiento del agua, orientada al fortalecimiento del pensamiento crítico en estudiantes de educación secundaria. En ese sentido, el producto esperado incluye:

- Una guía didáctica estructurada por fases y subfases, con actividades contextualizadas.

- Rúbricas e instrumentos de evaluación asociados a las competencias STEM y al pensamiento crítico.
- Fichas técnicas de recursos y materiales de bajo costo y fácil acceso.
- Un protocolo de implementación con recomendaciones metodológicas y de adaptación para otros contextos rurales.

En ese sentido, la elección de una metodología de diseño iterativo y validación por expertos (Design-Based Research combinada con validación técnica mediante CVR/CVI) responde a criterios prácticos y epistemológicos ya que, permite garantizar la solidez teórica y pedagógica del diseño antes de invertir en implementaciones costosas; reduce el riesgo de esfuerzos improductivos al someter tempranamente los componentes a juicio especializado, lo que es especialmente valioso cuando el tiempo y los recursos son limitados; favorece la producción de materiales de bajo costo y alta aplicabilidad mediante prototipado rápido y co-diseño con docentes locales; y facilita la escalabilidad, puesto que la guía y los kits se validan en términos de pertinencia, factibilidad y seguridad técnica antes de su réplica. En síntesis, validar académicamente el contenido con un panel de expertos asegura que las decisiones sobre qué implementar y cómo hacerlo estén informadas por criterios técnicos y pedagógicos robustos, optimizando el uso del tiempo y los recursos disponibles.

### **Descripción de la población y muestra**

La población de interés para la validación académica de la estrategia ABP-STEM está constituida por expertos en educación STEM, metodologías activas, evaluación educativa y gestión del agua; estos expertos serán la unidad de análisis en la fase de validación de contenido y su juicio técnico constituirá la evidencia primaria para aceptar, reformular o eliminar los componentes de la guía didáctica.

Por lo tanto, se propone conformar un panel intencional de 8–12 expertos (propuesta operativa:  $N = 10$ ), ya que, este rango ofrece un equilibrio entre diversidad de perspectivas y factibilidad operativa; además satisface los requisitos mínimos prácticos para aplicar el índice de validez de contenido de Lawshe (se recomienda un mínimo de 7 expertos), lo cual concuerda con recomendaciones de Roebianto et al. (2023) que sugiere un rango de cinco a diez expertos funcionales y manejables, además, las características que si incluyen en los criterios de selección de los expertos responden a orientaciones de Escobar & Cuervo (2008) y Maldonado (2024), quienes subrayan la importancia de convocar expertos con profundidad temática, imparcialidad, independencia y disponibilidad operativa.

De igual manera, la diversidad del panel permite equilibrar perspectivas académicas con particularidades del entorno, maximizando el aporte teórico-práctico y reduciendo sesgos en las valoraciones. Asimismo, la selección y el número serán justificados y documentados en el anexo mediante los CV breves de los expertos y el cumplimiento de los criterios de inclusión.

**Criterios de selección de los expertos (cada experto debe cumplir al menos dos):**

- Experiencia docente en secundaria en áreas STEM ( $\geq 3$  años) o experiencia demostrable en diseño e implementación de proyectos ABP/STEM.
- Formación de posgrado (maestría o doctorado) en educación, didáctica, investigación educativa, o disciplinas afines.
- Experiencia técnica en gestión del agua, ingeniería ambiental o química con antecedentes de trabajo pedagógico o de articulación con instituciones educativas.
- Trayectoria en diseño o validación de instrumentos educativos (participación previa en paneles expertos, publicaciones metodológicas o roles de evaluación).
- Vínculo o representación del contexto territorial (al menos 1–2 expertos locales) para asegurar pertinencia contextual.
- Se solicitará a cada candidato el envío de un CV breve (1 página) y una declaración de ausencia de conflicto de interés

Por otro lado, la convocatoria se realizará por invitación directa (correo formal) especificando objetivos, alcance, plazos y responsabilidades; además, se solicitará consentimiento informado por escrito, garantía de confidencialidad (las respuestas se agregan de forma anónima salvo autorización expresa) y autorización para incorporar el CV resumido en el anexo metodológico. Asimismo, esta muestra ha sido definida con base en su experiencia, conocimiento del contexto y disposición a participar en el proceso de validación técnica de la estrategia pedagógica.

**Matriz de interesados o beneficiarios**

*Tabla 3. Matriz de interesados o beneficiarios, elaboración propia.*

<b>Grupo de interesados / beneficiarios</b>	<b>Intereses</b>	<b>Expectativas</b>	<b>Problemas previstos</b>	<b>Predisposición</b>	<b>Estrategia</b>
<b>Estudiantes de séptimo grado</b>	Aprender de manera activa y significativa; usar materiales reales.	Participar en experiencias educativas prácticas y resolver un problema real de su entorno.	Dificultad para adaptarse a una metodología nueva (ABP); bajo conocimiento científico previo.	Comprometido / Solidario	Acompañamiento constante, lenguaje sencillo, ejemplos contextualizados y actividades prácticas.
<b>Docentes del área de ciencias</b>	Contar con estrategias didácticas innovadoras y contextualizadas.	Obtener una guía estructurada que facilite el desarrollo de competencias STEM y pensamiento crítico.	Limitaciones en tiempo disponible; resistencia al cambio metodológico.	Ambivalente / Comprometido	Vinculación en el diseño, talleres de socialización, validación participativa y asesoría técnica.
<b>Directivos escolares</b>	Mejorar los procesos pedagógicos institucionales.	Integrar la estrategia al PEI y fortalecer los resultados académicos.	Falta de alineación inicial con planes institucionales; priorización de otras necesidades administrativas.	Neutral	Socialización de avances y resultados; vinculación en fases de diagnóstico y validación.



Grupo de interesados / beneficiarios	Intereses	Expectativas	Problemas previstos	Predisposición	Estrategia
<b>Expertos académicos</b>	Aportar al desarrollo de propuestas educativas innovadoras.	Evaluar rigurosamente el diseño pedagógico y contribuir con criterios técnicos.	Falta de conocimiento del contexto rural; criterios muy académicos y alejados de la realidad local.	Comprometido	Claridad metodológica; uso del método Lawshe para validación y retroalimentación técnica.

### Prospectiva de la Investigación: Propuesta de Implementación del Modelo a ser Validado

#### Fundamentación teórica

El modelo combina Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con enfoque STEM para resolver un reto real del contexto de Saravena: el tratamiento de agua potable. Este se fundamenta en el pensamiento crítico, entendido como la capacidad de analizar datos, evaluar alternativas y tomar decisiones informadas; y la estrategia reconoce los saberes locales y utiliza datos reales de calidad de agua (IDEAM, 2022; CUMARE E.S.P., 2020) para reforzar la relevancia y autenticidad.

A continuación, en la tabla 4, se presentan los componentes claves del modelo:

*Tabla 4. Componentes clave del modelo, elaboración propia.*

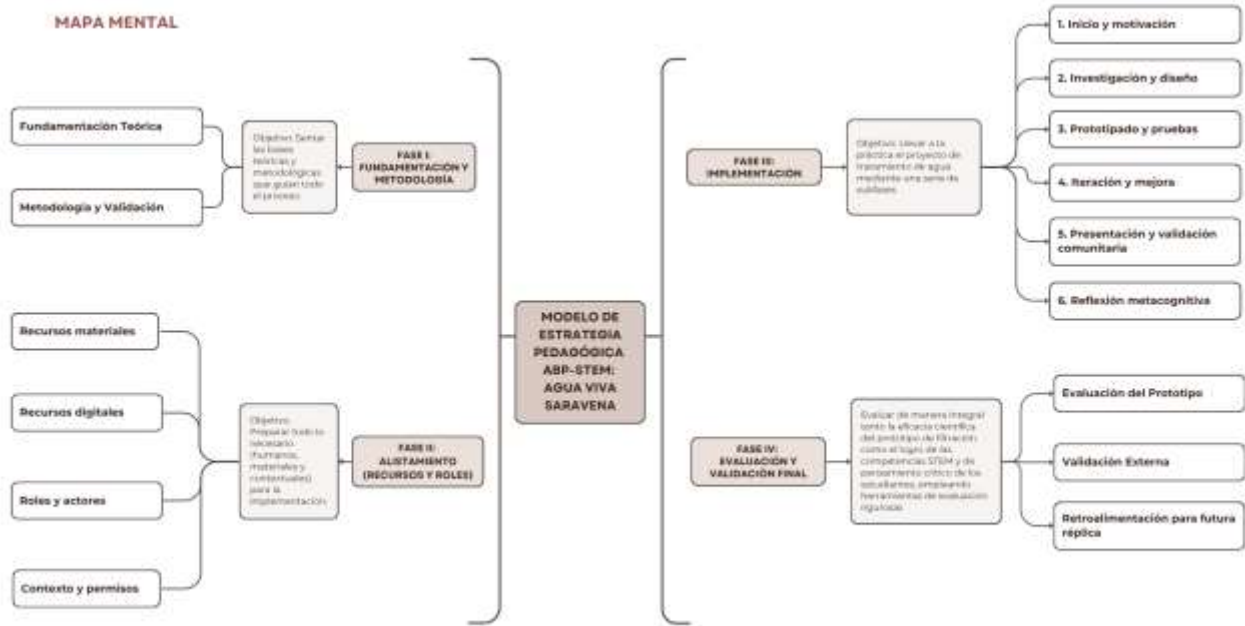
Componente	Descripción
Propósito	Desarrollar competencias científicas, tecnológicas, ingenieriles y matemáticas para diseñar prototipos de filtración de agua.
Problema guía	¿Cómo garantizar agua potable en Saravena mediante soluciones sostenibles y replicables?

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
Producto público	Prototipo funcional de filtro, informe de diseño, presentación comunitaria y portafolio reflexivo.
Competencias STEM	Ciencia (análisis de calidad de agua), Tecnología (uso de sensores sencillos), Ingeniería (diseño de prototipos), Matemáticas (estadística de datos).
Pensamiento crítico	Formulación de preguntas, evaluación de evidencia, argumentación y comparación de métodos de filtración.
Contexto	Datos locales de consumo y deficiencias de la red rural, saberes ancestrales llaneros, enfoque de sostenibilidad.
Evaluación	Rúbricas de desempeño, listas de cotejo, entrevistas focalizadas, validación por expertos y autoevaluación guiada.
Recursos	Materiales reciclados, kits de medición (pH, turbidímetro), guías digitales, salidas de campo, entrevistas a expertos.

### **Diseño de la Estrategia Pedagógica ABP-STEM:**

El Modelo de estrategia pedagógica ABP-STEM, se titula: Agua Viva Saravena. El cual, se divide en cuatro fases como se observa en el mapa mental de la Figura No. 3:

Figura 3. Mapa Mental del modelo de la estrategia pedagógica, elaboración propia.



Nota. Elaboración propia.

### Fase I: Fundamentación y Metodología

**Objetivo:** Sentar las bases teóricas y metodológicas que guían todo el proceso.

#### 1.1 Fundamentación Teórica

- Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) + Enfoque STEM
- Pensamiento crítico: análisis de datos, formulación de preguntas, argumentación
- Saberes locales llaneros y uso de datos reales (IDEAM, CUMARE)

Para fundamentar el diseño de las actividades de la estrategia pedagógica ABP-STEM (formulación de preguntas guía, prototipado, análisis, reflexión metacognitiva), se usan varios enfoques teóricos consolidados. Primero, el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), como indican Saiz & Rivas (2011), se caracteriza por presentar problemas reales que fomentan reflexión, discusión y aplicación

activa; estas dinámicas promueven habilidades metacognitivas y pensamiento crítico en contextos auténticos. Asimismo, una revisión sistemática en educación básica realizada por Jara et al. (2025) confirma que el ABP potencia capacidades analíticas, de evaluación e inferencia en los estudiantes, haciendo del diseño de actividades un eje para movilizar pensamiento crítico.

Complementariamente, investigaciones en ciencias educativas sugieren que las actividades que desarrollan pensamiento crítico deben ser continuas, contextualizadas y ligadas a situaciones motivadoras, no limitadas a eventos puntuales. En ese caso, Abrami et al. (2015) subrayan que el diálogo entre pares, la resolución de problemas auténticos y el uso de roles son metodologías efectivas para activar habilidades críticas, además, las estrategias como el debate socrático, la discusión en clase o actividades de indagación guiada están avaladas por su capacidad de involucrar a los alumnos en procesos reflexivos profundos, tal como exponen los enfoques de aprendizaje activo (Active Learning) en STEM.

## 1.2 Metodología y Validación

- Diseño de validación: rúbricas, Lawshe, autoevaluación
- Estudios previos: revisión de casos ABP-STEM en tratamiento de agua

### Fase II: Alistamiento (Recursos y Roles)

**Objetivo:** Preparar todo lo necesario (humanos, materiales y contextuales) para la implementación.

*Tabla 5. Recursos, elaboración propia.*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción / Actividad concreta</b>
Recursos materiales	Botellas recicladas, arena, carbón activado, sensores de pH, cuadernos de campo
Recursos digitales	Guías digitales, rúbricas en línea, plantillas de portafolio
Roles y actores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Docente facilitador (guía el proceso, aporta andamiaje en STEM y pensamiento crítico)</li> <li>• Estudiantes-investigadores (recolectan datos, diseñan prototipos y registran resultados)</li> </ul>

- 
- Mentores locales (CUMARE) (sabedores y técnicos de CUMARE E.S.P. para validar propuestas)
- 

Contexto y permisos	Contacto con los expertos, definición de sitios de recolección de testimonios y datos
---------------------	---

---

### Fase III: Implementación

**Objetivo:** Llevar a la práctica el proyecto de tratamiento de agua mediante una serie de subfases claramente delimitadas, en las cuales el alumnado aplique conocimientos científicos, movilice saberes locales y construya, pruebe y perfeccione prototipos, al mismo tiempo que reflexiona sobre su propio proceso de aprendizaje y valida los resultados con la comunidad.

#### Sub-Fases de implementación

##### 1. Inicio y motivación

**Propósito:** Conectar a los estudiantes con la problemática real y generar su interés activo.

- Actividad docente: Presentar datos de calidad del agua (IDEAM), testimonios locales y ejemplos de impacto.
- Actividad estudiantil: Formular colaborativamente la pregunta guía y los subproblemas a investigar.

#### *Descripción de las Actividades:*

En esta subfase, el docente reúne al grupo y presenta en diapositivas los datos más recientes sobre calidad del agua en Saravena (IDEAM 2022 y CUMARE E.S.P. 2020), destacando parámetros como pH, turbidez y presencia de contaminantes. A continuación, invita a un líder comunitario o técnico de la región para que comparta un testimonio vivo sobre el acceso y uso del agua en la vereda. Con ese contexto, el docente plantea la pregunta guía central:

- ¿Cómo podemos diseñar un sistema de filtración que emplee materiales locales para mejorar la calidad del agua en Saravena?

Luego, en plenaria, los estudiantes derivan conjuntamente tres subpreguntas orientadoras:



- ¿Cuáles son los contaminantes más frecuentes en el agua de la vereda y cómo afectan la salud de la comunidad?
- ¿Qué materiales disponibles en el entorno llanero (arena, carbón vegetal, grava) pueden funcionar como medios filtrantes y por qué?
- ¿Qué criterios y métodos utilizaremos para medir la eficacia de nuestro prototipo de filtro?

Para cerrar la subfase, el docente forma equipos de tres o cuatro estudiantes, asignando a cada grupo una de las subpreguntas y dejando claro que serán responsables de investigar y responder su pregunta en la siguiente etapa. De este modo, todos quedan motivados, con un propósito claro y preparados para abordar el proyecto de manera colaborativa.

## 2. Investigación y diseño

**Propósito:** Reunir información científica y saberes tradicionales para definir el prototipo de filtración.

- Búsqueda documental: Revisar artículos académicos, manuales de filtración y relatos de comunidades llaneras.
- Trabajo de campo: Aplicar encuestas o entrevistas estructuradas a líderes y habitantes locales (con guía del docente).
- Planificación del prototipo: Seleccionar materiales (arena, carbón activo, botellas recicladas) y elaborar esquemas de montaje.

### *Descripción de las Actividades:*

En esta subfase, cada equipo retoma la subpregunta asignada en la etapa anterior y reúne la información necesaria para diseñar su prototipo de filtración. Primero, los estudiantes consultan al menos dos fuentes académicas o manuales técnicos sobre métodos de filtración de agua, respondiendo a la pregunta: “¿Qué principios científicos y criterios de diseño garantizan la remoción de contaminantes como turbidez, metales y microorganismos?” Paralelamente, elaboran una tabla comparativa de saberes llaneros documentados durante la fase de testimonios, abordando:

- Materiales locales (arena, carbón vegetal, grava) y sus propiedades filtrantes,
- Prácticas tradicionales de purificación empleadas por la comunidad.



Con esa base, cada equipo diseña un protocolo de campo que incluya un mínimo de cinco preguntas para entrevistas o encuestas estructuradas a líderes y habitantes, por ejemplo:

- “¿Qué experiencias previas tienen con sistemas de filtración casera?”
- “¿Qué recursos locales consideran más accesibles y por qué?”
- “¿Cómo describirían el sabor, olor o apariencia del agua antes y después de purificarla?”

Luego realizan la salida de campo, entrevistando al menos a dos personas por grupo y registrando sus respuestas en un formulario estándar. Finalmente, cada equipo traslada la información recabada a un diagrama de flujo en papel, donde conceptualiza las capas del filtro (por ejemplo: grava → arena fina → carbón) y los pasos de ensamblaje, de modo que quede lista la guía visual para el prototipado. Con esto, se garantiza la coherencia entre el conocimiento científico, los saberes locales y las etapas prácticas que vendrán en el laboratorio.

### 3. Prototipado y pruebas

**Propósito:** Construir versiones iniciales del filtro y recopilar datos cuantitativos de rendimiento.

- Montaje del prototipo: Ensamblar el filtro según el diseño acordado.
- Ensayos de laboratorio: Medir pH, turbidez y otros parámetros en muestras filtradas.
- Registro de resultados: Anotar datos en cuaderno de campo y comparar con estándares de potabilidad.

#### *Descripción de las Actividades:*

Una vez definidos el diseño y los materiales, cada equipo recibe sus botellas plásticas, arena fina, carbón activado, grava, mallas y embudos para ensamblar el primer prototipo de filtro siguiendo el diagrama de flujo. A continuación, toman tres muestras de agua cruda directamente de la fuente y, tras pasar cada muestra por su filtro, obtienen tres muestras de agua filtrada. Con el sensor o kit de medición, registran parámetros críticos como pH, turbidez y conductividad, en una hoja de cálculo estandarizada. Al finalizar las pruebas, comparan los resultados obtenidos con los estándares de potabilidad de la OMS y la normativa local, identificando los valores que cumplen los criterios y aquellos que requieren mejora

### 4. Iteración y mejora



**Propósito:** Refinar el prototipo con base en la evidencia experimental y la retroalimentación.

- Análisis de datos: Evaluar comparativamente los resultados de las pruebas.
- Sesión de retroalimentación: Discusión en grupo y con mentores para identificar ajustes (granulometría, tipo de carbón, sellado).
- Rediseño rápido: Aplicar mejoras y preparar una nueva ronda de pruebas.

***Descripción de las Actividades:***

Con los datos cuantitativos en mano, los estudiantes se reúnen en plenaria para analizar de forma colectiva los puntos débiles de su prototipo original, como una turbidez residual alta o un pH fuera del rango óptimo. Cada grupo propone al menos dos ajustes concretos, por ejemplo, aumentar la proporción de carbón activado o refinar la granulometría de la arena, y documenta en un breve plan de mejora el fundamento científico de cada cambio. A continuación, reensamblan el filtro aplicando estas modificaciones y repiten al menos dos ensayos de filtración, midiendo nuevamente los parámetros definidos. Finalmente, redactan un informe de una página en el que describen las mejoras implementadas, muestran comparaciones antes y después, y reflexionan sobre la efectividad de los ajustes.

## **5. Presentación y validación comunitaria**

**Propósito:** Someter el prototipo a la valoración de la comunidad y expertos externos.

- Evento de muestra: Organizar una feria o encuentro local donde los estudiantes expliquen su filtro.
- Recogida de feedback: Aplicar cuestionarios y entrevistas a usuarios y académicos (panel Lawshe).
- Registro de percepciones: Documentar sugerencias y grado de aceptación.

***Descripción de las Actividades:***

Para someter el prototipo a una prueba de campo real, los estudiantes organizan un evento tipo feria en la escuela o un espacio comunitario cercano. Preparan carteles explicativos y ensayan una presentación oral de cinco minutos en la que exponen el funcionamiento de su filtro, los resultados de laboratorio y las mejoras realizadas. Durante la actividad, entregan un cuestionario de cinco preguntas a por lo menos diez asistentes (entre ellos, vecinos, usuarios potenciales y un par de expertos académicos

invitados) para recabar opiniones sobre eficacia, facilidad de uso y aceptación cultural. Recogen tanto datos escritos como observaciones verbales, y elaboran un cuadro resumen de feedback que clasifica las sugerencias por categorías (técnicas, operativas y contextuales).

## 6. Reflexión metacognitiva

**Propósito:** Fomentar la autoevaluación y el aprendizaje sobre el propio proceso.

Portafolio reflexivo: Cada estudiante redacta qué aprendió, dificultades afrontadas y estrategias utilizadas.

Coevaluación: Uso de rúbricas para valorar competencias STEM, trabajo en equipo y pensamiento crítico.

### *Descripción de las Actividades:*

En la etapa final, cada estudiante redacta un portafolio reflexivo de 300 a 400 palabras donde responde a las preguntas: “¿Qué aprendí sobre los procesos científicos y sociales del filtrado de agua?”, “¿Qué retos enfrenté durante el proyecto y cómo los superé?” y “¿Qué modificaciones implementaría en futuras réplicas?”, realizar un intercambio de portafolios con sus compañeros para realizar una cueba valuación guiada mediante una rúbrica breve que valore tanto la calidad científica, como la creatividad y la colaboración; para concluir, el grupo realiza una breve conversación de 10 minutos en la que comparten las elecciones más significativas, además de discutir las mejoras metodológicas, y establecen recomendaciones para escalar o adaptar el modelo en nuestras comunidades.

## Fase IV: Evaluación y Validación Final

Objetivo: Evaluar la eficacia científica del prototipo de filtración como el logro de las competencias STEM y de pensamiento crítico de los estudiantes, al emplear herramientas de evaluación como rúbricas, listas de cotejo y método lawshe, y recogiendo retroalimentación de de un paquete de expertos con el fin de validar la pertinencia, la calidad y la réplica habilidad del modelo pedagógico en contextos similares.

### 4.1 Evaluación del Prototipo

- Rúbricas STEM: rigor científico, creatividad, trabajo en equipo.
- Listas de cotejo: cumplimiento de fases y entregables.

#### 4.2 Validación Externa

- Panel de expertos académicos (método Lawshe)
- Informe de factibilidad y recomendaciones de mejora

#### 4.3 Retroalimentación para futura réplica

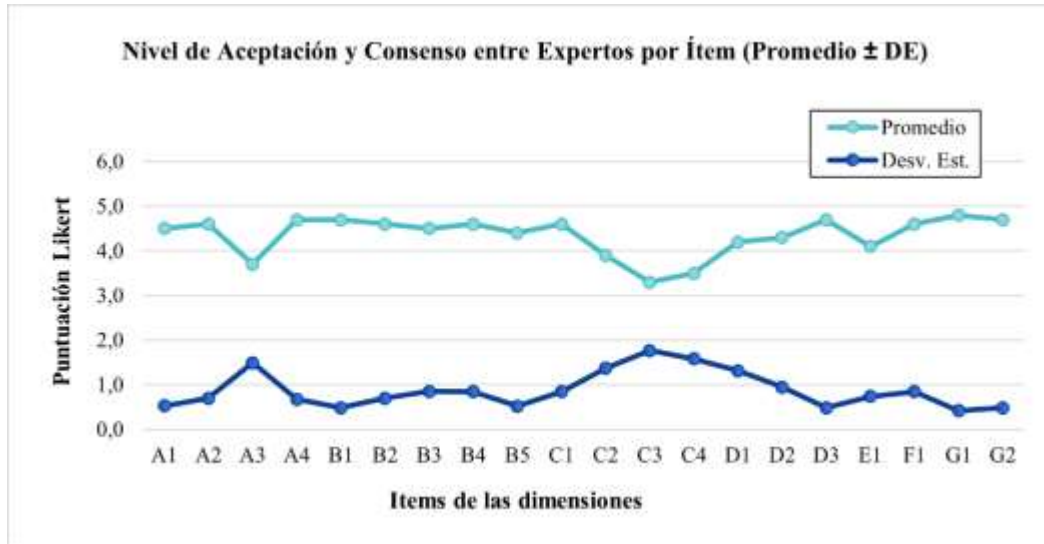
- Documento guía con lecciones aprendidas
- Propuestas de ajustes contextuales para otras comunidades

### Resultados y análisis de resultados

Para la validación de la estrategia pedagógica ABP-STEM “Agua Viva Saravena”, se diseñó un paquete metodológico de revisión por expertos que integra diferentes instrumentos para garantizar un análisis de la propuesta. Los resultados de la evaluación fue realizada por un panel de diez expertos y que por motivos de confidencialidad sus identidades fueron codificadas como E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9 y E10; la valoración combinó dos procedimientos: una escala Likert (1–5) para medir el grado de acuerdo con cada ítem y el método de Lawshe para estimar la validez de contenido, que clasifica cada ítem como Esencial (E), Útil pero no esencial (U) o No esencial (N) y a partir de estas respuestas se calcularán los índices de validez de contenido (CVR e I-CVI). A continuación, se detallan, por dimensión, los resultados e interpretación (promedios y dispersión), seguidos de las recomendaciones derivadas de las observaciones de los expertos según los resultados del Likert, del método Lawshe y la evidencia cualitativa resultante de las observaciones que se obtuvieron en la validación del paquete de expertos.

El análisis de los puntajes otorgados por los diez expertos y como se observa en la figura no. 4, se revela un alto nivel de aceptación general de los ítems que comprenden la estrategia pedagógica, donde los ítems con mayor aceptación se ubican en un rango entre 4.4 y 4.8, como A1, A2, A4, B1, B2, B4, C1, D3, F1, G1 y G2., lo que indica que los expertos perciben los componentes como pertinentes, comprensibles y ajustados al enfoque metodológico propuesto; además, los ítems con mayor conceso presentan desviación estándar entre 0.4 y 0.8, y refleja una coincidencia sólida entre las valoraciones.

**Figura 4.** Nivel de Aceptación y Consenso entre Expertos por Ítem (Promedio  $\pm$  DE), elaboración propia.



Sin embargo, se identificaron ítems con mayor variabilidad, especialmente en la dimensión C y D, los ítems muestran DE superiores a 1.3, lo que sugiere diferencias notables en la percepción de los expertos respecto a la claridad operativa, el nivel de detalle técnico y la factibilidad de implementación. Por otro lado, ciertos ítems presentan puntajes más bajos y mayor dispersión, lo que revela áreas que requieren ajustes de la implementación, en estos, se destacan los casos de A3 (3.7; DE 1.5), C2 (3.9; DE 1.4), C3 (3.3; DE 1.8) y C4 (3.5; DE 1.6), por lo que, estas desviaciones sugieren diferencias en la percepción de los expertos respecto a la suficiencia y claridad de la información presentada.

De igual manera, al analizar los resultados agregados por dimensión, como se observa en la figura no. 5, la estrategia presenta un desempeño sólido y equilibrado en la mayoría de sus componentes. En ese caso, las dimensiones con mayor aceptación global son la G con un promedio de 4.8, y la F con 4.6, lo que demuestra que los expertos reconocen el carácter innovador de la propuesta y su potencial de replicación en contextos educativos rurales similares. También se destaca la dimensión B, cuyo promedio de 4.6 confirma la calidad metodológica y la integración efectiva de los enfoques ABP y STEM. Otras dimensiones donde se evidencia resultados satisfactorios según los datos identificados por los diez expertos son la dimensión A, donde presenta un promedio de 4.4, lo que indica que la coherencia general es alta, pero requiere clarificar resultados de aprendizaje y criterios de evaluación; y la dimensión D con un promedio de 4.4, sugiriendo que los expertos consideran necesario explicitar mejor los protocolos y formatos de registro.

Figura 5. Promedio por dimensión, elaboración propia.



Complementando los resultados cuantitativos, la evidencia cualitativa aportada por los diez expertos permite profundizar en los aspectos específicos que explican las variaciones observadas en los puntajes; mientras dimensiones como Innovación y ajuste contextual (G) y Pertinencia pedagógica y STEM (B) muestran altos niveles de aceptación y bajo desacuerdo, los comentarios detallan que estas fortalezas se deben a la integración auténtica de saberes locales, el uso contextualizado de datos reales y la coherencia de la secuencia ABP-STEM.

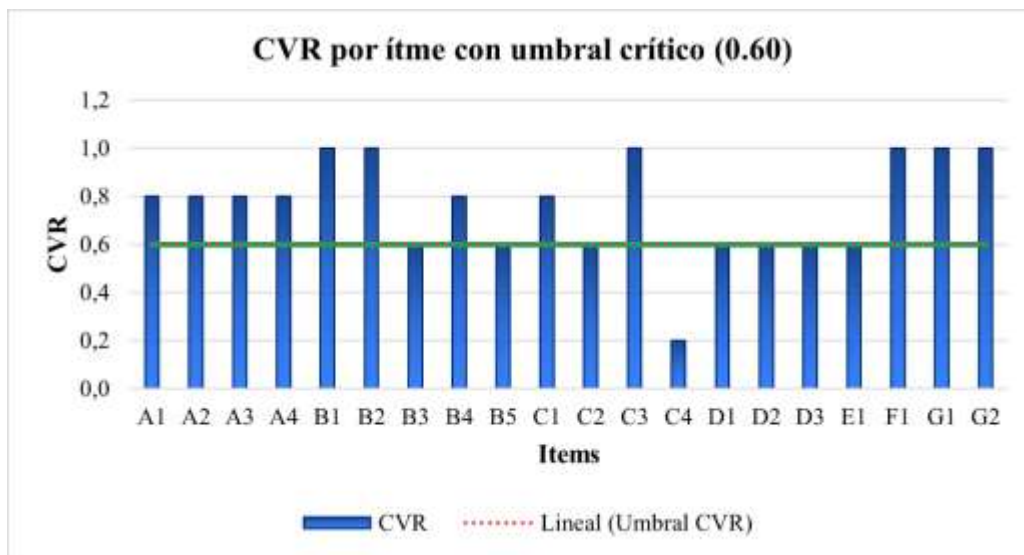
Por otro lado, las dimensiones con menor promedio, especialmente Viabilidad logística (C) y ciertos elementos de Documentación operativa (E) también presentan la mayor dispersión, lo cual se refleja en observaciones que señalan la ausencia de un cronograma detallado, la falta de protocolos de seguridad, la necesidad de precisar roles docentes y la carencia de materiales estandarizados como plantillas, guías y listas de chequeo. Asimismo, en la dimensión de evaluación (D), aunque los puntajes son aceptables, los expertos coinciden en solicitar indicadores más claros, protocolos de medición y ejemplos de análisis, de esa manera, la evidencia cualitativa confirma lo mostrado por las gráficas: la estrategia es sólida en su estructura conceptual y en su pertinencia pedagógica, pero requiere ajustes operativos específicos para garantizar su aplicación segura, clara y reproducible en el aula.

En concordancia con los patrones identificados en los análisis previos, los resultados del método de Lawshe permiten fortalecer la interpretación global de la validez del instrumento; si bien el valor crítico tradicional para un panel de 10 expertos es 0.62, en el presente estudio se adoptó un umbral operativo de 0.60, dado que la diferencia con el valor teórico es mínima y no afecta la interpretación



conceptual, este ajuste metodológico también responde a recomendaciones presentes en la literatura para paneles pequeños, en los cuales valores ligeramente inferiores pueden considerarse aceptables cuando los ítems presentan I-CVI altos ( $\geq 0.80$ ) y coherencia con los hallazgos cualitativos, como ocurre en este caso.

**Figura 6.** CVR por ítems con umbral crítico (0.60), elaboración propia.



A partir de este umbral, y como se observa en la figura no. 6, se confirma que la mayoría de los ítems alcanzan alta validez de contenido, especialmente aquellos relacionados con la coherencia pedagógica, la integración STEM y la pertinencia contextual, coincidiendo con los altos puntajes observados en la escala Likert. Por su parte, los ítems que obtuvieron validez moderada (0.60-0.77) corresponden a los mismos componentes que, en análisis anteriores, evidencian necesidades de ajuste operativo como claridad de roles, estandarización de protocolos, y definición de cronograma. Además, el ítem C4, con CVR de 0.20, se mantiene como el punto crítico del instrumento, en línea con las observaciones expertas que señalan vacíos en la preparación docente y la asistencia metodológica.

### Conclusiones

La investigación permitió consolidar la estrategia pedagógica ABP-STEM denominada “Agua Viva Saravena”, concebida como una respuesta educativa pertinente frente a las necesidades formativas identificadas en los estudiantes de secundaria, especialmente en lo referente al fortalecimiento del pensamiento crítico, y partiendo del reconocimiento de que los contextos rurales y de recursos limitados demandan propuestas pedagógicas innovadoras y situadas, el proyecto logró articular el tratamiento del



agua como eje integrador de saberes científicos, tecnológicos, ingenieriles y matemáticos, convirtiendo un problema real del entorno en una oportunidad formativa significativa.

Además, se pudo constatar que el enfoque ABP-STEM ofrece un marco importante debido a que promueve la reflexión, el análisis y la toma de decisiones que están ligadas a los estudiantes; y esto se logra gracias a la interacción que existe entre la exploración del problema, la experimentación mediante diferentes prototipos, la discusión colectiva e incluso la evaluación continua, elementos que favorecen tanto la comprensión profunda de los contenidos como el uso aplicable del conocimiento, es así que, la estrategia diseñada presenta un recorrido metodológico coherente ya que permite a los estudiantes cuestionar, investigar, modelar soluciones y validar sus propios procesos.

Por otro lado, la participación de expertos permitió valorar la solidez conceptual y pedagógica de la estrategia ya que dimensiones clave como la Pertinencia pedagógica e innovación y ajuste al contexto obtuvieron altas puntuaciones promedio (4.6 y 4.8, respectivamente, en la escala Likert), a la vez ayudo identificar aspectos susceptibles de ajuste, especialmente aquellos relacionados con la precisión de procedimientos, la temporalidad, la organización de roles y el acompañamiento docente; ya que, estos aportes enriquecerán el proceso de refinamiento posterior y fortalecen la viabilidad de su implementación en escenarios reales de aula; asimismo, los resultados demuestran que la estrategia pedagógica es una propuesta bien fundamentada y contextualizada, el ítem con menor CVR (0.20) fue el C4 , referente a si la propuesta incluye capacitación y apoyo docente claros y viables , lo que obligó a reconocer la necesidad de desarrollar orientaciones más claras para el docente, de esa manera su diseño evidencia que si es posible integrar las áreas de STEM de manera natural alrededor de alguna problemática local, y a la vez que se pueden generar aprendizajes importantes para los estudiantes, sobre todo al fomentar competencias de pensamiento crítico que sobrepasan los contenidos tradicionales.

De esa manera, se concluye que el presente trabajo aporta una alternativa pedagógica innovadora, mientras abre la puerta a nuevas líneas de investigación e intervención al demostrar que al realizar un buen diseño pedagógico y haciendo uso de la validación experta, se convierten en pasos esenciales para consolidar propuestas innovadoras y fundamentadas. Así, la estrategia producida constituye un referente para futuras investigaciones y para instituciones interesadas en fortalecer el pensamiento crítico y la alfabetización científica desde problemas propios del entorno, y con ello, el estudio deja una base sólida para que, en procesos posteriores, la estrategia pueda ser adaptada, ajustada e implementada en contextos escolares diversos, manteniendo siempre su propósito formativo y su pertinencia social.



### **Visión prospectiva del proyecto**

#### **Lecciones aprendidas**

- El diseño de estrategias ABP-STEM requiere una articulación cuidadosa entre la problemática del contexto y los objetivos formativos, de modo que el aprendizaje tenga sentido y relevancia para los estudiantes.
- La validación con expertos constituye un proceso indispensable para fortalecer la coherencia metodológica, identificar vacíos conceptuales y anticipar dificultades prácticas antes de cualquier implementación.
- El tratamiento del agua se consolida como un eje integrador pertinente y adaptable, capaz de vincular los saberes científicos con la realidad ambiental del territorio.
- La construcción de instrumentos rigurosos (rúbricas, lineamientos, formatos) garantiza orden, claridad y replicabilidad en proyectos educativos de carácter STEM.

#### **Fortalezas del proyecto**

- Propuesta pedagógica contextualizada que conecta un problema real con contenidos curriculares y competencias de pensamiento crítico.
- Estructura metodológica clara, secuenciada y fundamentada en literatura reciente sobre ABP y STEM.
- Paquete de validación completo, útil tanto para revisión experta como para futuras adaptaciones institucionales.
- Potencial de aplicación en contextos con recursos limitados gracias a su enfoque en materiales accesibles y actividades orientadas a la indagación.

#### **Oportunidades de mejora**

- Precisión y estandarización de procedimientos experimentales para garantizar claridad en futuras implementaciones.
- Ajuste del cronograma y delimitación temporal de actividades, manteniendo tiempos realistas y acordes con la dinámica escolar.
- Mayor desarrollo de orientaciones para docentes, especialmente en el acompañamiento de procesos de experimentación y reflexión.

- Revisión detallada de materiales y roles para evitar ambigüedades y asegurar condiciones de seguridad y operatividad.

### **Recomendaciones**

- Incluir una guía didáctica ampliada que especifique paso a paso la moderación, las preguntas detonantes y los criterios de evaluación formativa, esta guía debe ser probada en un piloto antes de su distribución.
- Fortalecer la fundamentación sobre el pensamiento crítico para ampliar la coherencia entre actividades, evidencias y resultados esperados, al desarrollar protocolos de observación en aula que permitan al docente medir la progresión de los indicadores del pensamiento crítico definidos en el marco teórico.
- Diseñar un protocolo de implementación que contemple posibles riesgos, alternativas de materiales y rutas de solución ante imprevistos.
- Socializar la estrategia con docentes y directivos para promover su apropiación y fomentar ajustes colaborativos antes de su aplicación.

### **Ideas para nuevos proyectos**

- Desarrollar un piloto de implementación en aula que permita obtener datos empíricos sobre el impacto de la estrategia en el aprendizaje y el pensamiento crítico.
- Crear módulos ABP-STEM adicionales centrados en otros problemas del contexto, como calidad del aire, gestión de residuos o energías renovables.
- Diseñar una plataforma digital o repositorio interactivo para acompañar la estrategia con simulaciones, videos y guías de laboratorio casero.
- Explorar la formación docente en ABP-STEM como línea de investigación complementaria, orientada al fortalecimiento de capacidades institucionales

### **Consideraciones éticas**

El desarrollo del presente proyecto se condujo bajo criterios éticos coherentes con los principios establecidos por la investigación educativa y las orientaciones normativas colombianas sobre el manejo responsable de información y participación voluntaria; dado que el estudio se centró exclusivamente en el diseño y validación de una estrategia pedagógica, nos involucraron estudiantes, menores de edad ni comunidades educativas en procesos de intervención directa, lo cual reduce los riesgos asociados a la



investigación con seres humanos. En relación con los expertos participantes, se garantizaron los principios de voluntariedad, consentimiento informado y confidencialidad; donde cada evaluador participó de manera libre y autónoma, con pleno conocimiento de los objetivos del estudio, del propósito del paquete de validación y de la forma en que serían utilizados sus aportes; además, no se recolectó información personal sensible, y los datos derivados de las rúbricas, juicios y observaciones se registraron de forma anónima, con el fin de asegurar la protección de la identidad y la privacidad de los participantes.

Asimismo, se tuvo especial cuidado en evitar cualquier conflicto de interés en la selección de los expertos, teorizando criterios de idoneidad académica, experiencia en educación STEM, ABP o innovación pedagógica; así, los aportes recibidos se emplearon estrictamente para fortalecer el diseño de la estrategia, respetando la integridad intelectual de las opiniones emitidas y garantizando su uso con fines académicos. En lo referente al manejo documental, todos los archivos, instrumentos y resultados de validación fueron almacenados y tratados con responsabilidad, accediendo únicamente las personas involucradas en elaboración del proyecto; además, se evitó la divulgación no autorizada de información y se cumplieron las normas de uso ético de datos, citación académica y respeto por la propiedad intelectual de los autores y referentes conceptuales utilizados en el marco teórico y metodológico.

Por otro lado, el presente proyecto se desarrolló bajo el compromiso de promover prácticas educativas que respeten la dignidad humana, protejan la diversidad y fomenten la responsabilidad social; y aunque la estrategia no fue implementada en el aula, su diseño contempla actividades seguras, formativas y respetuosas del contexto escolar, lo cual garantiza que, en una futura aplicación, pueda llevarse a cabo sin vulnerar derechos de los estudiantes ni de la comunidad educativa; de este modo, el presente trabajo se mantiene en estándares éticos adecuados para investigaciones de diseño pedagógico y valida su pertinencia tanto académica como social.



### Referencias bibliográficas

- Abrami, P. C., et al. (2015). Diálogo, resolución de problemas y roles como estrategias para el desarrollo del pensamiento crítico. *Polo del Conocimiento*.
- Afari, E. (2013). Improving students' attitudes towards mathematics through active learning. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 44(5), 685–698.  
<https://doi.org/10.1080/0020739X.2012.756548>.
- Albarrán, M., & Díaz, E. (2021). Project-Based Learning and critical thinking in high school students. *International Journal of Education Research*, 105, 101948.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2021.101948>
- Alcaldía Municipal de Arauca. (2021). *Alcaldía Arauca, implementa estrategia pedagógica de cultura ambiental*. <https://www.Arauca-Arauca.Gov.Co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Alcald%C3%ADa-Arauca,-Implementa-Estrategia-Pedag%C3%B3gica-de-Cultura-Ambiental.Aspx>.
- Aránguiz, C., Cordero, S., & Guzmán, M. (2020). Agroecología y pensamiento crítico en educación superior: Un estudio de caso en Chile. *Revista Latinoamericana de Educación Rural*, 3(2), 54-72.  
<https://doi.org/10.5354/1870-5286.2020.55884>
- Aspers, P., & Corte, U. (2021). What is qualitative in research. *Qualitative Sociology*, 44, 599–608.  
<https://doi.org/10.1007/s11133-021-09497-w>
- Association of American Colleges and Universities. (2010). *Assessing outcomes and improving achievement: Tips and tools for using VALUE rubrics*. Washington, DC: AAC&U.  
<https://www.aacu.org/value/rubrics>
- Baltierrez-Chumacero, R., & Damián-Núñez, G. (2023). Aprendizaje basado en problemas y desarrollo del pensamiento crítico en primaria. *Revista Peruana de Educación*, 47(3), 99-117.  
<https://doi.org/10.20511/rpe.v47n3.1059>
- Barrera, J., Venegas-Muggli, J., & Ibacache, P. (2022). Impacto del aprendizaje basado en proyectos en la enseñanza de las ciencias en secundaria. *Educación y Ciencia*, 29(1), 75-90.  
<https://doi.org/10.15446/educacionyciencia.v29n1.107273>



- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39–43.  
<https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Benavides, C., & Ruíz, A. (2022). El pensamiento crítico en el ámbito educativo: una revisión sistemática. *Revista Innova Educación*, 4, 62–79. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2022.02.004>
- Bloom, B. S. (Ed.). (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain*. David McKay.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26(3–4), 369–398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- Bonafide, D. Y., Yuberti, Y., Saregar, A., & Fasa, M. I. (2021). Problem-Based Learning Model on Students' Critical-Thinking Skills: A Meta-Analysis Study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012075>
- Bonafide, P., Ramírez, G., & Gómez, J. (2021). Meta-analysis on project-based learning and critical thinking development. *Journal of Educational Research*, 115(2), 150-168.  
<https://doi.org/10.1080/00220671.2021.1876782>
- Brocos, P., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2020). Argumentación y pensamiento crítico en el aula de secundaria. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 38(2), 47-62.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2748>
- Cano, L. M., & Álvarez, L. de los D. (2020). *Pensamiento crítico: un marco para su medición, comprensión y desarrollo desde la perspectiva cognitiva*.  
<https://Repository.Upb.Edu.Co/Handle/20.500.11912/5769>.
- Cano, L., & Ángel, I. (2020). Medellín territorio STEM+ H: Un diagnóstico de la Secretaría de Educación de Medellín sobre el desarrollo del enfoque en las instituciones educativas de la ciudad. Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/6205>
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. Sense Publishers.  
<https://www.springer.com/gp/book/9789462091436>



- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (Eds.). (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach* (2nd ed.). SensePublishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-6209-143-6>
- Carbajal, A. I. (2025). *El aprendizaje basado en problemas (ABP) como predictor del desempeño académico*. 9. <https://doi.org/10.32654/revistaconcienciaepg>
- Carrera Castro, F., Kato, M., Hollander, A., Cuevas Zúñiga, J., Trejo Tinoco, Y., Delgado Carrillo, M., & José Sandoval Rodríguez, J. (2024). *Manual de Pensamiento Crítico*.
- Carrillo, T. (2001). *El proyecto pedagógico de aula*. <https://www.redalyc.org/pdf/356/35651518.pdf>
- Castro, Á., Iturbe Sarunic, C., Jiménez Villarroel, R., & Silva Hormázabal, M. (2020). Stem or humanities education? A reflection on the integral formation of the 21st century citizen. *Utopia y Praxis Latinoamericana*, 25, 197–208. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4110904>
- Constitución Política de Colombia. (1991). *CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA 1991 PREAMBULO EL PUEBLO DE COLOMBIA*. <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>
- Contraloría Departamental de Arauca. (2019). Informe Anual sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente del Departamento de Arauca - Vigencia 2018. Contraloría Departamental de Arauca.
- Contraloría Departamental de Arauca. (2019/2020). Informe Final de Auditoria Gubernamental con Enfoque Integral Modalidad Regular a la Gestión Administrativa Ejecutada por la Administración de la Alcaldía del Municipio de Saravena Vigencias 2017 y 2018. Contraloría Departamental de Arauca.
- Decreto 1860 de 1994. (1994). *Decreto 1860 de Agosto 3 de 1994*. [https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-86240\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-86240_archivo_pdf.pdf)
- Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. D.C. Heath.
- Dyl, R., Merritt, R., Soria, A., & Summers, K. (2022). *Systematization of four educational experiences in Colombia and Peru (Regional Education Experiences Report)*. George Washington University.
- Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. En J. B. Baron & R. J. Sternberg (Eds.), *Teaching thinking skills: Theory and practice* (pp. 9–26). W. H. Freeman.



- Ennis, R. H. (2011). The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities. <http://criticalthinking.net/wp-content/uploads/2018/01/The-Nature-of-Critical-Thinking.pdf>
- Ertmer, P. A., & Simons, K. D. (2006). Jumping the PBL implementation hurdle: Supporting the efforts of K–12 teachers. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 40–54. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1005>
- Ertmer, P. A., & Simons, K. D. (2006). Jumping the PBL Implementation Hurdle: Supporting the Efforts of K–12 Teachers. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1(1), 40–54. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1004>
- Escobar, E., & Cuervo, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: Propuesta y aplicación de un instrumento para medir habilidades gerenciales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 47(1), 1–13.
- 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. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction. Research findings and recommendations (The Delphi Report)*. California Academic Press.
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Measured Reasons LLC. [https://www.insightassessment.com/wp-content/uploads/ia/pdf/what\\_why.pdf](https://www.insightassessment.com/wp-content/uploads/ia/pdf/what_why.pdf)
- Facione, P. A. (2023). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Insight Assessment. <https://insightassessment.com/wp-content/uploads/2023/12/Critical-Thinking-What-It-Is-and-Why-It-Counts.pdf>
- Facione, P. A., & Facione, N. C. (2011). *The holistic critical thinking scoring rubric (HCTSR) [Rating tool]*. Insight Assessment/California Academic Press. [https://insightassessment.com/var/ezflow\\_site/storage/pdf/Rub\\_HCTSR%2B-%2BEnglish.pdf](https://insightassessment.com/var/ezflow_site/storage/pdf/Rub_HCTSR%2B-%2BEnglish.pdf)
- Fernández, C., & Abellán-Roselló, L. (2022). *Aprendizaje basado en proyectos y gamificación como metodología docente en docencia universitaria*. [https://www.researchgate.net/publication/369997604\\_Aprendizaje\\_basado\\_en\\_proyectos\\_y\\_gamificacion\\_como\\_metodologia\\_docente\\_en\\_docencia\\_universitaria](https://www.researchgate.net/publication/369997604_Aprendizaje_basado_en_proyectos_y_gamificacion_como_metodologia_docente_en_docencia_universitaria).



- Fernández, H. P. (2022). *Propuesta en educación STEM para resolver problemas medioambientales con tecnología en la media técnica del Colegio CEDID Ciudad Bolívar*.  
<https://Repository.Udistrital.Edu.Co/Items/Bf78e2a8-F495-4882-8862-403bfb1e9335>.
- Filgueira Arias, C. (2017). *Desafíos del paradigma educativo en el siglo XXI: investigación, innovación y formación*. 256. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/954ff000-f15d-4f12-8ba1-ad01f9e4ee1b/content>
- Fragozo-Argote, A. Y., & Guerra-Palmera, N. J. (2022). Aprendizaje basado en proyectos para el uso racional del agua. *Revista Criterios*, 29, 218–239. <https://doi.org/10.31948/rev.criterios/29.1-art12>
- Freeman, S., et al. (2014). Active learning improves student performance in STEM fields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- García Araque, M. L. (2022). Estrategias pedagógicas Fundamentadas en la Metodología STEAM que fomenten el Desarrollo del Pensamiento Tecnológico, Científico y Creativo en los Niños de Educación Inicial. [Trabajo de Grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11634/49248>
- Gobernación de Arauca. (2017). *Arrancaron trabajos de intervención en la Institución Educativa Gustavo Villa para mejorar sus ambientes escolares e implementar la jornada única*.  
<https://Arauca.Gov.Co/Arrancaron-Trabajos-de-Intervencion-En-La-Institucion-Educativa-Gustavo-Villa-Para-Mejorar-Sus-Ambientes-Escolares-e-Implementar-La-Jornada-Unica/>.
- Gobernación de Arauca. (2021). *Cumare logró la aprobación de importante proyecto para disminuir el índice de hogares con condiciones inadecuadas para el acceso de agua potable*.  
<https://Arauca.Gov.Co/Cumare-Logro-La-Aprobacion-de-Importante-Proyecto-Para-Disminuir-El-Indice-de-Hogares-Con-Condiciones-Inadecuadas-Para-El-Acceso-de-Agua-Potable/>.
- Gómez, J., & Wiest, R. (2020). Methodology of the pilot studies. *Revista Chilena de Radiología*, 26, 100–104. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082020000300100>
- Gonzaga, S. L. (2025). Application of PBL in the design of water quality monitoring networks. Case: Malcatos and Zamora rivers, Ecuador. *European Public and Social Innovation Review*, 10. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1411>
- Goulart, J. L. (2022). El desinterés escolar: en busca de un entendimiento. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento*, 04(01), 89–110.  
<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacion-es/el-desinteres-escolar>



- Guaita, J. E. (2024). *Las metodologías activas en el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes*.
- Halpern, D. F. (1998). Teaching critical thinking for transfer across domains: Disposition, skills, structure training, and metacognitive monitoring. *American Psychologist*, 53(4), 449–455.  
<https://doi.org/10.1037/0003-066X.53.4.449>
- Halpern, D. F. (2014). *Thought and knowledge: An introduction to critical thinking* (5th ed.). Psychology Press.
- Herce-Palomares, M. P., Rodrigo-Yanguas, M., González-González, C. S., López-Ruiz, R., & Lozano-Cabezas, I. (2022). On the design and validation of assessing tools for measuring the impact of programs promoting STEM vocations. *Frontiers in Psychology*, 13, 937058.  
<https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2022.937058/full>
- IDEAM. (2021). *Estudio Nacional del Agua 2022*. <https://www.ideam.gov.co/Sala-de-Prensa/Informes/Publicacion-Jue-23032023-1200>.
- Ilbay Guaña, E. L., & Espinosa Cevallos, P. A. (2024). La importancia del pensamiento crítico y la resolución de problemas en la educación contemporánea. *Kosmos*, 3(1), 4–18.  
<https://doi.org/10.62943/rck.v3n1.2024.50>.
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (Icfes). (2023). Informe nacional de resultados Saber 11° 2022. Icfes.
- Jaimés-Ojeda, L. (2017). Propuesta metodológica para la enseñanza de la química en la Educación Media apoyada en el aprendizaje basado en problemas (APB). *Revista Perspectivas*, 2(2), 6–16.  
<https://doi.org/10.22463/25909215.1310>
- Jara Contreras, J. E., Espinoza Romero, L. M., León Noles, F. A., & Tambaco Alencastro, E. P. (2025). Impacto del ABP en el desarrollo del pensamiento crítico en educación básica. *Polo del Conocimiento*.
- Jurdak, M. (2016). STEM education as a context for real-world problem solving. En *Learning and teaching real world problem solving in school mathematics* (pp. 193–206). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-08204-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08204-2_10)
- Kuhn, D. (1999). A developmental model of critical thinking. *Educational Researcher*, 28(2), 16–25, 46.  
<https://doi.org/10.3102/0013189x028002016>

- Kuhn, D. (2019). Critical thinking as discourse. *Human Development*, 62(3), 146–164.  
<https://doi.org/10.1159/000500171>
- Laksono, P. J., Patriot, E. A., Safarwati, L., & Alinda, O. L. (2025). *Water Quality Modeling: A Project Based Learning in STEM* (pp. 608–621). [https://doi.org/10.2991/978-2-38476-390-0\\_50](https://doi.org/10.2991/978-2-38476-390-0_50)
- Larmer, J., Mergendoller, J. R., & Boss, S. (2015). Setting the standard for project-based learning. ASCD.
- Ley 1549 de 2012. (2012). *LEY 1549 DE 2012*. <https://www.Suin-Juriscol.Gov.Co/ViewDocument.Asp?Ruta=Leyes/1683174>.
- Ley General de Educación. (1994). *Ley 115 de Febrero 8 de 1994*.  
[https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85906\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85906_archivo_pdf.pdf)
- Lipman, M. (1988). Critical thinking—What can it be? *Educational Leadership*, 46(1), 38–43.
- Lipman, M. (1991). *Thinking in education*. Cambridge University Press.
- López, A. A., & Abad, A. A. (2025). Impacto de la IA en el desarrollo de habilidades y competencias del siglo XXI. *Ciencia y Reflexión*, 4, 801–836. <https://doi.org/10.70747/cr.v4i2.321>
- Maldonado, N. (2024). Validez de contenido por juicio de expertos: Norma y guía de aplicación. *REIRE - Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 17(2), 45–60.
- Mantilla, E., & Prada, L. (2025). EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO EN EDUCACIÓN BÁSICA SECUNDARIA. *DIALÉCTICA*, 2.  
<https://doi.org/10.56219/dialectica.v2i24.3449>
- Marín-Ríos, A., Cano-Villa, J., & Mazo-Castañeda, A. (2023). Apropiación de la educación STEM/STEAM en Colombia: una revisión a la producción de trabajos de grado. *Revista Científica*, 47, 55–70. <https://doi.org/10.14483/23448350.20473>
- Martín, R., Guede, R., & Cid, A. I. (2024). (PDF) *Un nuevo enfoque metodológico en la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en Educación Secundaria: rutas STEAM como propuesta didáctica para promover la educación fuera del aula*.  
[https://www.researchgate.net/publication/382825070\\_Un\\_nuevo\\_enfoque\\_metodologico\\_en\\_la\\_ensenanza-aprendizaje\\_de\\_las\\_matematicas\\_en\\_Educacion\\_Secundaria\\_rutas\\_STEAM\\_como\\_propuesta\\_didactica\\_para\\_promover\\_la\\_educacion\\_fuera\\_del\\_aula](https://www.researchgate.net/publication/382825070_Un_nuevo_enfoque_metodologico_en_la_ensenanza-aprendizaje_de_las_matematicas_en_Educacion_Secundaria_rutas_STEAM_como_propuesta_didactica_para_promover_la_educacion_fuera_del_aula).  
[https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/382825070\\_Un\\_nuevo\\_enfoque\\_metodologico\\_en\\_la\\_ensenanza-aprendizaje\\_de\\_las\\_matematicas\\_en\\_Educacion\\_Secundaria\\_rutas\\_STEAM\\_como\\_propuesta\\_didactica\\_para\\_promover\\_la\\_educacion\\_fuera\\_del\\_aula](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/382825070_Un_nuevo_enfoque_metodologico_en_la_ensenanza-aprendizaje_de_las_matematicas_en_Educacion_Secundaria_rutas_STEAM_como_propuesta_didactica_para_promover_la_educacion_fuera_del_aula)



ogico\_en\_la\_enseñanza-

aprendizaje\_de\_las\_matematicas\_en\_Educacion\_Secundaria\_rutas\_STEAM\_como\_propuesta\_didactica\_para\_promover\_la\_educacion\_fuera\_del\_aula

McNall, R. M. N., Wilhelm, J. A., & LeVaughn, J. M. (2023). Project-Based Unit Development by Middle School Science Teachers: Investigations on Watershed Water Quality. *Education Sciences*, 13. <https://doi.org/10.3390/educsci13010011>

McPeck, J. E. (1981). Critical thinking and education. Martin Robertson.

MEN. (2024). *Niveles de la educación básica y media - Niveles de la educación básica y media*. <https://www.mineducacion.gov.co/Portal/Preescolar-Basica-y-Media/Sistema-de-Educacion-Basica-y-Media/233834:Niveles-de-La-Educacion-Basica-y-Media>.

Ministerio de Educación (Chile). (2019). Metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos: Instrumentos de evaluación en ABP. Currículum Nacional. [https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-134607\\_recurso\\_1.pdf](https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-134607_recurso_1.pdf)

Ministerio de Educación Nacional [MEN]. (2006). *Estándares Básicos de Competencias*. [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-340021\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-340021_recurso_1.pdf)

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2022, junio 2/3). Gobierno nacional lanza Ruta Stem 2022 para fortalecer las capacidades de docentes y estudiantes del país en tecnología, ciencia, ingeniería y matemáticas [Comunicado de prensa/Noticia]. Portal MinTIC / Portal MEN.

Moll, L. C., Amanti, C., Neff, D., & Gonzalez, N. (1992). Funds of knowledge for teaching: Using a qualitative approach to connect homes and classrooms. *Theory Into Practice*, 31(2), 132-141. (Referencia para el concepto de "Fondos de Conocimiento" y la conexión hogar-escuela).

Montenegro, J. P., & Maza Guaicha, D. J. (2025). El desarrollo de habilidades del Siglo XXI en la educación. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual "ALCON,"* 5, 300–312. <https://doi.org/10.62305/alcon.v5i2.502>

Muñetón, J., Delgado, F., Cruz, A., & Redondo, J. (2025). *DISEÑO DE PROPUESTA EDUCATIVA STEAM BASADO EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: PROYECTO "MI AGUA, TU AGUA" ESTUDIANTES: ANGÉLICA MARÍA CRUZ FORERO MÓDULO 4: LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES COMO FACILITADORES DE LA EDUCACIÓN STEAM DOCENTE CARLOS GONZALEZ MARTINEZ 21 de FEBRERO del 2025*.



[https://www.researchgate.net/publication/389561104\\_DISENO\\_DE\\_PROPUESTA\\_EDUCATIVA\\_STEAM\\_BASADO\\_EN\\_LA\\_INTELIGENCIA\\_ARTIFICIAL\\_PROYECTO\\_MI\\_AGUA\\_TU\\_AGUA\\_ESTUDIANTES\\_ANGELICA\\_MARIA\\_CRUZ\\_FORERO\\_MODULO\\_4\\_LAS\\_TECNOLOGIAS\\_DIGITALES\\_COMO\\_FACILITADORES\\_DE\\_LA\\_EDU](https://www.researchgate.net/publication/389561104_DISENO_DE_PROPUESTA_EDUCATIVA_STEAM_BASADO_EN_LA_INTELIGENCIA_ARTIFICIAL_PROYECTO_MI_AGUA_TU_AGUA_ESTUDIANTES_ANGELICA_MARIA_CRUZ_FORERO_MODULO_4_LAS_TECNOLOGIAS_DIGITALES_COMO_FACILITADORES_DE_LA_EDU).

National Institutes of Health. (PMC). Estrategias de aprendizaje activo que promueven el pensamiento crítico (como debate, cuestionamiento socrático)

Nguyen, T. P. L., Nguyen, T. H., Tran, T. K. A., La, V. P., & Le, A. D. (2023). The effects of integrated STEM project-based learning on secondary school students' higher-order thinking skills: A meta-analysis. *Education Sciences*, 13(7), 698. <https://doi.org/10.3390/educsci13070698> (Meta-análisis reciente sobre ABP-STEM y habilidades de pensamiento superior/crítico).

OECD. (2023). PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>

OECD. (2023). PISA 2022 Results: Country Note - Colombia. OECD Publishing.

Oyewo, O. A., Ramaila, S., & Mavuru, L. (2022). Harnessing project-based learning to enhance STEM students' critical thinking skills using water treatment activity. *Education Sciences*, 12(11), 780. <https://doi.org/10.3390/educsci12110780>

Oyewo, O. A., Ramaila, S., & Mavuru, L. (2022). Harnessing Project-Based Learning to Enhance STEM Students' Critical Thinking Skills Using Water Treatment Activity. *Education Sciences*, 12. <https://doi.org/10.3390/educsci12110780>

Oyewo, O. A., Ramaila, S., Mavuru, L., & Olaniran, S. O. (2022). Problem-Based Learning to Enhance STEM Students' Critical Thinking Skills Using Water Treatment Activity. *Education Sciences*, 12(11), 780. <https://doi.org/10.3390/educsci12110780>

Paul, R., & Elder, L. (2003). La miniguía para el pensamiento crítico: Conceptos y herramientas. Fundación para el Pensamiento Crítico. <https://www.criticalthinking.org/resources/PDF/SP-ConceptsandTools.pdf>.

Paul, R., & Elder, L. (2019). *Critical thinking: Tools for taking charge of your learning and your life* (3rd ed.). Pearson.

Paul, R., & Elder, L. (2019). *Critical thinking: Tools for taking charge of your learning and your life* (3<sup>a</sup> ed.). Pearson.



- Paul, R., & Elder, L. (2019). *The miniature guide to critical thinking: Concepts and tools* (8th ed.). Rowman & Littlefield / The Foundation for Critical Thinking Press.
- Pérez Torres, M., Couso Lagarón, D., & Marquez Bargalló, C. (2024). Evaluation of STEAM Project-Based Learning (STEAM PBL) Instructional Designs from the STEM Practices Perspective. *Education Sciences*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/educsci14010053>
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. International Universities Press. <https://doi.org/10.1037/11494-000>
- Prieto-Galindo, F. H. (2018). Critical thinking and self-knowledge. *Revista de Filosofía (Chile)*, 74, 173–191. <https://doi.org/10.4067/s0718-43602018000100173>
- Ramírez, J. C. (2024). El currículo rural en Colombia. Problematización e institucionalización de la educación rural. *Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*, 5, 472–600. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i4.379>
- Rámirez-Figueroa, L. A. (2024). Transformando la educación en Colombia: estrategias didácticas, stem y habilidades del siglo XXI. *Revista Huellas*, 10. <https://doi.org/10.22267/huellas.24102.16>
- Recalde, E. M., Chicaiza Valle, V. L., Guanga Inca, U. R., Bravo López, Z. M., & Molina Herrera, S. M. (2024). Importancia del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) para el Aprendizaje Significativo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7, 7068–7081. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i6.9229](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9229)
- Rodríguez, P. (2022). *Propuesta didáctica sobre las aguas subterráneas y sus amenazas para 3o de Educación Secundaria Obligatoria*. <https://Academica-e.Unavarra.Es/Server/Api/Core/Bitstreams/Aab6917b-347c-418c-B50d-490a7c2edb07/Content>. <https://academica-e.unavarra.es/server/api/core/bitstreams/aab6917b-347c-418c-b50d-490a7c2edb07/content>
- Roebianto, A., Savitri, S. I., Aulia, I., Suciñana, L., & Mubarakah, L. (2023). Content validity in psychological research. *TPMAP Journal*, 30(1), 5–18.
- Saiz, C., & Rivas, S. F. (2011). Aprendizaje basado en problemas y pensamiento crítico: el programa ARDESOS. *Revista de Universidad de Salamanca*.
- Saravia, S., Gil Sevilla, M., Fernández, D., Montañez, A., Blanco, E., Naranjo, L., Llavona, A., & Sarmanto, N. (2022). *Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas*



*residuales en América Latina y el Caribe*. <https://Repositorio.Cepal.Org/Items/28d129e6-2774-4544-9437-Fe8e5622aa50>.

- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. (Referencia seminal para el concepto de Conocimiento Pedagógico del Contenido - PCK).
- Siegel, H. (1988). *Educating reason: Rationality, critical thinking, and education*. Routledge.
- Simeon, M. I., Samsudin, M. A., & Yakob, N. (2020). Effect of design thinking approach on students' achievement in some selected physics concepts in the context of STEM learning. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 185–212. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09601-1>
- Tafakur, T., Retnawati, H., & Shukri, A. A. M. (2023). Effectiveness of project-based learning for enhancing students critical thinking skills: A meta-analysis. *JINoP (Jurnal Inovasi Pembelajaran)*, 9, 191–209. <https://doi.org/10.22219/jinop.v9i2.22142>
- Topsakal, I., Altun Yalçın, S., & Çakır, Z. (2025). The effect of problem-based STEM education on the students' critical thinking tendencies and their perceptions for problem solving skills. *Science Education International*, 33(2), 136–145. <https://doi.org/10.33828/sei.v33.i2.1>.
- Tovar, D. (2019). Educación STEM en la Sudamérica hispanohablante. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(3), 1–7.
- UNESCO. (2011). *International standard classification of education*. UNESCO. <https://uis.unesco.org/en/topic/international-standard-classification-education-iscied>
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/CGBA9153>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>

## ANEXOS

### *Anexo A. Rúbrica de Validación Académica*

#### **Estrategia ABP-STEM para el Tratamiento de Agua**

#### **(RVA-ABP-STEM)**

#### **Propósito:**

La RVA-ABP-STEM tiene como finalidad recoger el juicio técnico del panel de expertos sobre la coherencia interna, la pertinencia pedagógica y la viabilidad contextual de la “Prospectiva de la Investigación: Propuesta de Implementación del Modelo a ser Validado”. Los resultados cuantitativos y cualitativos (observaciones y recomendaciones) orientarán las modificaciones necesarias para dejar el diseño finalmente validado desde el punto de vista académico, garantizando una confiabilidad metodológica y adecuación al contexto de la I.T.C. José Eustasio Rivera.

#### **Instrucciones para el experto sobre el diligenciamiento de la rúbrica**

Lea la Propuesta de Implementación del Modelo (Agua Viva Saravena)

Lea con atención cada ítem que aparece en la tabla. Cada uno describe un aspecto de la propuesta.

1. Valore su nivel de acuerdo utilizando la escala Likert (1–5) y marque con una X o con un círculo el número que refleje mejor su valoración:
  - 1 = Muy en desacuerdo (el ítem no cumple en absoluto con lo planteado).
  - 2 = En desacuerdo (cumple de forma muy limitada).
  - 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo (es indiferente o tiene vacíos importantes).
  - 4 = De acuerdo (el ítem cumple de manera satisfactoria).
  - 5 = Muy de acuerdo (el ítem cumple completamente y sin observaciones).
2. Determine la esencialidad del ítem (Método Lawshe) y seleccione una sola opción marcando con una X:
  - Esencial (E): el componente es indispensable para que la estrategia sea válida.
  - Útil pero no esencial (U): es relevante, pero la propuesta podría funcionar sin él.
  - No esencial (N): el componente no aporta a la estrategia y puede eliminarse.
3. Escriba observaciones y recomendaciones concretas en la última columna.



- Puede anotar sugerencias de redacción, ajustes metodológicos, aclaraciones o comentarios sobre materiales y tiempos.
- Si considera que el ítem debe modificarse, explique brevemente el qué y el por qué.

Dimensión	Ítem (código)	¿Qué evalúa?	Escala Likert (1-5)					Observaciones y/o recomendaciones	Método Lawshe		
			¿Qué tan de acuerdo está?						¿El componente descrito es esencial para la propuesta?		
			1	2	3	4	5		E	E	N
A. Coherencia interna	A1	En su opinión, ¿los objetivos, las actividades, los productos y los criterios de evaluación están bien relacionados entre sí? Si tiene recomendaciones, por favor escríbalas en el cuadro de observaciones.									
	A2	En su opinión, ¿las fases y subfases de la estrategia siguen un orden lógico y progresivo? Si lo considera necesario, anote sus sugerencias en el cuadro de observaciones									
	A3	En su opinión, ¿los resultados de aprendizaje están redactados con claridad y permiten verificar si los estudiantes los alcanzan? Si tiene sugerencias, anótelas en el cuadro de observaciones									
	A4	En su opinión, ¿los recursos propuestos (kits, materiales reciclados) son adecuados y coherentes con las actividades planteadas? Si tiene recomendaciones, escríbalas en el cuadro de observaciones									
B. Pertinencia pedagógica	B1	En su opinión, ¿las actividades de la estrategia ayudan a que los estudiantes formulen preguntas, analicen y argumenten? Si tiene sugerencias, escríbalas en el cuadro de observaciones.									
	B2	En su opinión, ¿la propuesta integra de manera auténtica la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las									



		matemáticas en las tareas? Si lo considera necesario, anote recomendaciones en el cuadro de observaciones											
	B3	En su opinión, ¿la estrategia incluye y respeta los saberes locales llaneros en el trabajo? Si tiene sugerencias, escríbalas en el cuadro de observaciones											
	B4	¿La propuesta tiene momentos para que los estudiantes reflexionen sobre lo que aprenden?											
	B5	En su opinión, ¿el lenguaje y las actividades son apropiados para estudiantes de 12 a 14 años? Si tiene observaciones, por favor escríbalas en el cuadro de observaciones											
C. Viabilidad contextual y logística	C1	En su opinión ¿Los materiales y equipos son accesibles o tienen alternativas locales?											
	C2	En su opinión, ¿el tiempo y cronograma de actividades se ajustan al calendario escolar? Si considera necesario, escriba sus recomendaciones en el cuadro de observaciones											
	C3	¿Se tienen en cuenta medidas de seguridad y aspectos éticos en las actividades?											
	C4	¿La propuesta incluye capacitación y apoyo docente claros y viables?											
D. Evaluación y métricas	D1	En su opinión, ¿se definen indicadores técnicos claros (ejemplo: turbidez, pH, porcentaje de reducción) y protocolos estandarizados para medir la eficacia del prototipo? Si tiene recomendaciones, escríbalas en el cuadro de observaciones											
	D2	En su opinión, ¿está definido cómo se registran y analizan los datos y quién lo hace? Si considera ajustes necesarios, anótelos en el cuadro de observaciones.											
	D3	En su opinión ¿El procedimiento de											



		validación por expertos está descrito y se puede aplicar?									
E. Calidad y usabilidad de la documentación	E1	En su opinión, ¿la documentación explica claramente los pasos, materiales, tiempos y criterios para que otros puedan repetir la experiencia? Si tiene comentarios, por favor anótelos en el cuadro de observaciones									
F. Sostenibilidad y escalabilidad	F1	En su opinión, ¿la propuesta puede aplicarse en otras instituciones con recursos similares? Si tiene observaciones, anótelas en el cuadro de observaciones.									
G. Innovación y ajuste al contexto	G1	En su opinión, ¿la propuesta integra enfoques como ABP, design thinking y uso de datos locales, aportando novedad pedagógica? Si tiene recomendaciones, escríbalas en el cuadro de observaciones									
	G2	En su opinión, ¿la propuesta está adaptada al contexto cultural y social de Saravena/Arauca? Si considera ajustes necesarios, anótelos en el cuadro de observaciones									

- Sección final: valoración global y recomendación

**Recomendación final (marque una X):**

ITEM	MARCACIÓN
Aprobar sin cambios	
Aprobar con ajustes menores (especifique)	
Revisar con cambios importantes (especifique)	
Rechazar (motivar)	

*Anexo B. Valores críticos de CVR según el número de expertos (Lawshe, 1975)*

<b>Número de expertos (N)</b>	<b>Valor crítico mínimo de CVR</b>
5	0.99
6	0.99
7	0.99
8	0.75
9	0.78
10	0.62
11	0.59
12	0.56
13	0.54
14	0.51
15	0.49
20	0.42
25	0.37
30	0.33
35	0.31
40	0.29

*Anexo C. Matriz de Criterios de Análisis*

**(MAC-ABP-STEM)**

**Propósito:**

Este instrumento operacionaliza los criterios que se usará para analizar y sistematizar las valoraciones del panel de expertos (RVA-Diseño ABP-STEM). Donde se traduce cada dimensión de la rúbrica a indicadores observables, fuentes de evidencia, anclas de puntuación y reglas de decisión para tomar ajustes en el diseño de “Agua Viva Saravena”.

**Instrucciones rápidas de uso**

1. Para cada ítem de la rúbrica (A1...G2), los expertos clasifican su pertinencia en una de tres categorías: Esencial (E), Útil pero no esencial (U) o No esencial (N).
2. Se contabilizan las respuestas en cada categoría y se calcula el CVR (Lawshe) y el I-CVI (Ne/N) para cada ítem.
3. Se comparan los valores obtenidos con el umbral crítico de Lawshe (según el número de expertos). Ítems con  $CVR \geq$  valor crítico se aceptan; los que no lo alcanzan se marcan para revisión o eliminación.
4. Se priorizan los ítems con  $I-CVI < 0.80$  o CVR por debajo del valor crítico, tomando en cuenta también las observaciones cualitativas de los expertos.
5. Para cada ítem en revisión, se elabora una acción correctiva con responsable y plazo, documentando los ajustes en la matriz MAC.

**Estructura de la Matriz (por fila / por ítem de la rúbrica)**

<b>Campo</b>	<b>Qué registra</b>
<b>Código del ítem</b>	Identificador (A1, A2... G2).
<b>Texto del ítem</b>	Redacción exacta de la rúbrica.
<b>Puntuación media</b>	Promedio de la calificación que dieron los expertos usando la escala Likert (1–5).
<b>Nº expertos</b>	Cantidad de expertos que evaluaron ese ítem.
<b>I-CVI</b>	Ne/NNe/N.
<b>Evidencia cualitativa clave</b>	Síntesis de observaciones textuales de los expertos (máx. 2–3 frases).



<b>Categoría de comentario</b>	Etiquetas de codificación: RED / REC / TEMP / SEG / DOC / COM / EVAL / MET / OTR.
<b>Severidad / Prioridad</b>	Alta / Media / Baja (según reglas de acción basadas en CVR e I-CVI).
<b>Propuesta de ajuste</b>	Modificación sugerida (breve).
<b>Responsable</b>	Persona encargada de realizar el ajuste.

#### Escala de prioridad y reglas de acción

- **Prioridad Alta:** Ítem con  $CVR < \text{valor crítico de Lawshe}$ , o  $I-CVI < 0.60$  (menos del 60% de expertos lo consideran esencial). Requiere rediseño inmediato
- **Prioridad Media:** Ítem con CVR cercano al valor crítico (ligeramente por debajo), o  $0.60 \leq I-CVI < 0.78$ . Requiere ajustes claros y una segunda ronda de revisión con expertos.
- **Prioridad Baja:** Ítem con  $CVR \geq \text{valor crítico}$  y  $I-CVI \geq 0.78$ . Ajustes menores opcionales, puede implementarse.

#### Esquema de codificación para observaciones cualitativas

Se usan las siguientes etiquetas cuando se codifiquen los comentarios abiertos de los expertos (se pueden marcar varias por observación):

- **RED:** Redacción / Claridad
- **REC:** Recursos / Materiales
- **TEMP:** Tiempo / Cronograma
- **SEG:** Seguridad / Ética
- **DOC:** Formación docente / Acompañamiento
- **COM:** Comunidad / Vinculación local
- **EVAL:** Instrumentos de evaluación (rúbricas, listas)
- **MET:** Metodología / Integración STEM
- **OTR:** Otro (especificar)

Ejemplo de codificación: Observación “Falta protocolo de muestreo estandarizado”: tag **EVAL, D2, SEG**.



Producto final que genera este instrumento

**Tabla consolidada** en Excel con todos los ítems, medias, I-CVI, categorías y prioridades. La cual se vería de la siguiente forma:

Ítem	Texto del ítem	Puntuación media	Nº expertos	I-CVI	Evidencia cualitativa clave	Categoría (tags)	Severidad / Prioridad	Propuesta de ajuste	Responsable
A1	En su opinión, ¿los objetivos, las actividades, los productos y los criterios de evaluación están bien relacionados entre sí? Si tiene recomendaciones, por favor escríbalas en el cuadro de observaciones.								
A2	En su opinión, ¿las fases y subfases de la estrategia siguen un orden lógico y progresivo? Si lo considera necesario, anote sus sugerencias en el cuadro de observaciones								
A3	En su opinión, ¿los resultados de aprendizaje están redactados con claridad y permiten verificar si los estudiantes los alcanzan? Si tiene sugerencias, anótelas en el cuadro de observaciones								
A4	En su opinión, ¿los recursos propuestos (kits, materiales reciclados) son adecuados y coherentes con las actividades planteadas? Si tiene recomendaciones, escríbalas en el cuadro de observaciones								



<b>B1</b>	En su opinión, ¿las actividades de la estrategia ayudan a que los estudiantes formulen preguntas, analicen y argumenten? Si tiene sugerencias, escríbalas en el cuadro de observaciones.								
<b>B2</b>	En su opinión, ¿la propuesta integra de manera auténtica la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas en las tareas? Si lo considera necesario, anote recomendaciones en el cuadro de observaciones								
<b>B3</b>	En su opinión, ¿la estrategia incluye y respeta los saberes locales llaneros en el trabajo? Si tiene sugerencias, escríbalas en el cuadro de observaciones								
<b>B4</b>	¿La propuesta tiene momentos para que los estudiantes reflexionen sobre lo que aprenden?								
<b>B5</b>	En su opinión, ¿el lenguaje y las actividades son apropiados para estudiantes de 12 a 14 años? Si tiene observaciones, por favor escríbalas en el cuadro de observaciones								
<b>C1</b>	En su opinión ¿Los materiales y equipos son accesibles o tienen alternativas locales?								
<b>C2</b>	En su opinión, ¿el tiempo y cronograma de actividades se ajustan al calendario escolar? Si considera necesario, escriba sus recomendaciones en el								



	cuadro de observaciones								
C3	¿Se tienen en cuenta medidas de seguridad y aspectos éticos en las actividades?								
C4	¿La propuesta incluye capacitación y apoyo docente claros y viables?								
D1	En su opinión, ¿se definen indicadores técnicos claros (ejemplo: turbidez, pH, porcentaje de reducción) y protocolos estandarizados para medir la eficacia del prototipo? Si tiene recomendaciones, escríbalas en el cuadro de observaciones								
D2	En su opinión, ¿está definido cómo se registran y analizan los datos y quién lo hace? Si considera ajustes necesarios, anótelos en el cuadro de observaciones.								
D3	En su opinión ¿El procedimiento de validación por expertos está descrito y se puede aplicar?								
E1	En su opinión, ¿la documentación explica claramente los pasos, materiales, tiempos y criterios para que otros puedan repetir la experiencia? Si tiene comentarios, por favor anótelos en el cuadro de observaciones								



<b>F1</b>	En su opinión, ¿la propuesta puede aplicarse en otras instituciones con recursos similares? Si tiene observaciones, anótelas en el cuadro de observaciones.								
<b>F2</b>	En su opinión, ¿la propuesta integra enfoques como ABP, design thinking y uso de datos locales, aportando novedad pedagógica? Si tiene recomendaciones, escríbalas en el cuadro de observaciones								
<b>G1</b>	En su opinión, ¿la propuesta está adaptada al contexto cultural y social de Saravena/Arauca? Si considera ajustes necesarios, anótelos en el cuadro de observaciones								
<b>G2</b>	En su opinión, ¿los objetivos, las actividades, los productos y los criterios de evaluación están bien relacionados entre sí? Si tiene recomendaciones, por favor escríbalas en el cuadro de observaciones.								

*Anexo D. Rúbrica de Evaluación del Pensamiento Crítico*

**ABP-STEM “Agua Viva Saravena”**

**Propósito:** Valorar la calidad de las producciones de los estudiantes (preguntas guía, argumentaciones, informes y productos) en relación con el fortalecimiento del pensamiento crítico y la integración STEM.

<b>Criterio</b>	<b>Excelente (4)</b>	<b>Alto (3)</b>	<b>Básico (2)</b>	<b>Bajo (1)</b>	<b>Puntaje</b>
<b>Formulación de preguntas</b>	Plantea preguntas profundas, pertinentes y desafiantes que impulsan la indagación.	Plantea preguntas claras y relevantes, aunque con menor nivel de profundidad.	Las preguntas son poco claras, superficiales o limitadas.	No formula preguntas o estas son irrelevantes.	
<b>Argumentación y evidencia</b>	Sustenta con datos científicos, saberes locales y ejemplos; integra diferentes perspectivas.	Sustenta con evidencia parcial o limitada.	Argumenta con base débil o sin relación clara con la evidencia.	Carece de argumentación o se basa en opiniones sin fundamento.	
<b>Coherencia de informes y presentaciones</b>	El informe/prototipo es claro, organizado y con ideas lógicamente articuladas.	El informe es comprensible, aunque presenta leves fallos de organización.	El informe tiene deficiencias en coherencia o claridad.	El informe es confuso, desordenado y sin relación con los objetivos.	
<b>Integración STEM</b>	Integra de manera explícita y equilibrada Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas.	Integra dos o tres áreas STEM de forma parcial.	La integración STEM es débil o superficial.	No se evidencia integración de áreas STEM.	
<b>Total</b>					

Interpretación:

- 13–16 puntos: nivel alto de pensamiento crítico.
- 9–12 puntos: nivel aceptable con aspectos por mejorar.
- 5–8 puntos: nivel básico, requiere acompañamiento.
- <5 puntos: nivel insuficiente.

*Anexo E. Lista de Cotejo para Observación de la Estrategia ABP-STEM*

**Propósito:** Registrar de manera estructurada el cumplimiento de los pasos de la metodología ABP y el uso de herramientas STEM durante la implementación de la estrategia.

Ítem de observación	Sí	No	Observaciones
Comprende la pregunta problema vinculada al agua en Saravena.			
Participa activamente en la fundamentación teórica con aportes pertinentes.			
Colabora en el alistamiento de materiales y recursos locales.			
Aplica protocolos de seguridad y ética en el muestreo de agua.			
Maneja adecuadamente instrumentos científicos (sensor pH, turbidez).			
Registra los datos en los formatos establecidos (cuaderno de campo, hoja de cálculo).			
Contribuye en el análisis e interpretación de resultados.			
Propone soluciones o mejoras con base en evidencia recogida.			
Participa en la construcción del producto final (prototipo y portafolio).			
Reflexiona sobre el proceso y participa en la coevaluación/metacognición.			

Nota: Aunque en este estudio no se realiza prueba piloto, la rúbrica y la lista de cotejo se incluyen como instrumentos diseñados, listos para su aplicación en futuros contextos de implementación.

*Anexo F. Ficha Técnica de Actividad*

**ABP-STEM (FTA-ABP-STEM)**

**Propósito del instrumento:**

Documentar de forma estandarizada cada actividad del modelo para que sea replicable, evaluable y validable por expertos; la ficha permite evaluar coherencia con objetivos, recursos, tiempos, criterios de evaluación (vinculados a pensamiento crítico y STEM) y condiciones de seguridad/ética.

**Plantilla de Ficha Técnica**

<b>A. Identificación</b>		<b>FICHA X: XXXXXXXXXX</b>
	Código actividad:	
	Nombre de la actividad:	
	Fase / Subfase:	
	Duración estimada (sesiones / horas):	
	Nivel / Grado:	Séptimo (12–14 años)
	Número de estudiantes por grupo:	
<b>B. Propósito general:</b>		
	Objetivo específico (verbo observable):	
<b>C. Competencias STEM:</b>		
	Competencias de Pensamiento Crítico:	
<b>D. Productos esperados / entregables:</b>		
<b>E. Materiales y recursos:</b>		
	Materiales consumibles:	
	Instrumentos / Kits:	
	Recursos humanos:	
	Recursos digitales:	
<b>F. Procedimiento paso a paso:</b>		
	1. Preparación docente y material:	
	2. Inicio:	
	3. Montaje / Actividad principal:	



	4. Muestreo / Medición:	
	5. Análisis preliminar:	
	6. Discusión y ajuste:	
	7. Cierre y registro en portafolio:	
<b>G. Criterios y rúbrica de evaluación:</b>		
	Hoja de datos (registro y análisis):	
	Argumentación y defensa (uso de evidencia):	
	Portafolio reflexivo (profundidad y metacognición):	
<b>H. Seguridad, ética y permisos:</b>		
	Medidas de seguridad:	
	Permisos necesarios:	
	Consideraciones éticas:	
<b>I. Adaptaciones / alternativas:</b>		
<b>J. Observaciones para el docente:</b>		
<b>K. Vinculación con la comunidad / producto público:</b>		
<b>L. Espacio para notas de validación por expertos:</b>		

### **A. Identificación**

- Código actividad:
- Nombre de la actividad:
- Fase / Subfase (por ejemplo: Fase III: Prototipado y pruebas / Subfase 3):
- Duración estimada (sesiones / horas):
- Nivel / Grado: Séptimo (12–14 años)
- Número de estudiantes por grupo: 3–4

### **B. Propósito y objetivo específico**

- Propósito general de la actividad: (breve)
- Objetivo específico (verbo observable): “Medir y comparar la turbidez antes y después del filtrado y justificar las decisiones de diseño”.

### **C. Competencias desarrolladas**



- Competencias STEM (especificar): Ciencia (por ejemplo: formulación hipótesis), Tecnología (uso de sensor pH/turbidez), Ingeniería (prototipado), Matemáticas (análisis estadístico básico).
- Competencias de Pensamiento Crítico (especificar): análisis de evidencia, inferencia, evaluación, argumentación, metacognición.

#### **D. Productos esperados / entregables**

- Prototipo físico (filtro)
- Hoja de datos con mediciones (pH, turbidez, observaciones)
- Informe breve (1 página) con resultados y justificación
- Registro en portafolio reflexivo

#### **E. Materiales y recursos**

- Materiales consumibles: botellas PET, arena, grava, carbón activado, malla, embudos, cinta, filtro de tela.
- Instrumentos/kit: medidor de pH (digital o tiras), kit de turbidez o turbímetro sencillo, jarras para muestreo, etiquetas, cuadernos de campo, hojas de cálculo (plantilla).
- Recursos humanos: docente facilitador, mentor técnico (CUMARE o técnico local) (opcional).
- Recursos digitales: guía descargable, rúbrica de evaluación, plantilla de hoja de datos.

#### **F. Procedimiento paso a paso (detallado)**

1. Preparación docente y material (antes de la clase): calibrar sensores, preparar muestras de control, imprimir hojas de datos.
2. Inicio (10–15 min): explicar objetivo, seguridad, repartir roles en el equipo.
3. Montaje del prototipo (30–45 min): ensamblar capas según diagrama acordado.
4. Muestreo y medición (30 min): tomar 3 muestras de agua cruda, filtrar y medir pH y turbidez de cada muestra; registrar en hoja de datos.
5. Análisis preliminar (30 min): calcular promedios, comparar con estándares (OMS/local), discutir diferencias entre equipos.
6. Discusión y ajuste (20–30 min): cada equipo propone 1–2 mejoras justificadas científicamente.
7. Cierre (10–15 min): registrar reflexiones en portafolio y preparar informe breve.

### **G. Criterios y rúbrica de evaluación (vinculación con Rúbrica RVA — ítems)**

- Rúbrica breve por entregable (puntuación 1–5):
  - **Hoja de datos (registro y análisis)** - criterios: mediciones completas, uso correcto de protocolos, presentación (D2, E2).
  - **Argumentación y defensa** - criterios: uso de evidencia, coherencia de la justificación, claridad (B1, A1).
  - **Portafolio reflexivo** - criterios: profundidad de reflexión, identificación de mejoras, metacognición (B4).

### **H. Seguridad, ética y permisos**

- Medidas de seguridad: uso de guantes si se manipulan aguas no tratadas; evitar ingestión; lavar manos; desinfección de equipos.
- Permisos: autorizaciones para salidas de campo y recolección de muestras; consentimiento informado para entrevistas.
- Consideraciones éticas: respeto por saberes locales, anonimato en entrevistas si se requiere, manejo responsable de residuos.

### **I. Adaptaciones / alternativas (si hay limitaciones de recursos)**

- Si no hay turbímetro, usar método comparativo visual con escala de turbidez (estándares caseros).
- Si no hay medidor de pH digital, usar tiras indicadoras.
- Alternativa sin salidas de campo: muestras simuladas o datos históricos provistos por el docente.

### **J. Observaciones para el docente**

- Tiempo sugerido por fase; sugerencias didácticas para orientar la discusión; preguntas guía para fomentar PC; roles recomendados (coordinador, registrador, técnico de medición, portavoz).

### **K. Vinculación con la comunidad / producto público**

- Relación de la actividad con la feria comunitaria y el cuestionario de usuarios (qué preguntar y a quién).



*Anexo G. Formato de hoja de vida resumida*

**Datos personales y académicos**

Nombre completo:	
Documento de identificación (opcional):	
Correo electrónico:	

**Formación académica (último título primero)**

Título obtenido:		Institución:		Año:	
Título obtenido:		Institución:		Año:	
Título obtenido:		Institución:		Año:	

**Experiencia profesional y académica relevante:**

Cargo/función:		Institución:		Años:	
Experiencia en proyectos STEM:					

**Experiencia en metodologías activas (ABP, aula invertida, gamificación, etc.):**

---

---

---

---

---

**Áreas de interés e investigación:**

---

---

**Firma del experto:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_17\_\_\_ / \_\_\_10\_\_\_ / \_\_\_2025\_\_\_