



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE  
MEDELLÍN: UN PROYECTO PARA EL APRENDIZAJE  
DE LA TERMODINÁMICA A PARTIR DE LA  
EXPERIMENTACIÓN EXPLORATORIA**

Autor

Duván Andrey Rojas González

Universidad de Antioquia

Facultad Educación

Medellín, Colombia

2020



**CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN: UN PROYECTO  
PARA EL APRENDIZAJE DE LA TERMODINÁMICA POR MEDIO DE LA  
EXPERIMENTACIÓN EXPLORATORIA**

**Duván Andrey Rojas González**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:  
**Licenciado en Matemáticas y Física**

Asesores:

Jaime Andrés Carmona Mesa

Línea de Investigación:

Enseñanza de las Matemáticas y la Física

Grupo de Investigación:

Grupo MATHEMA

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Medellín, Colombia

2020

## **Agradecimientos**

A mi abuela María Elisa Bedoya Jimenes, quien ha acompañado todo mi proceso educativo y lo ha apoyado desde múltiples perspectivas.

A mi asesor Jaime Andrés Carmona Mesa, quien ha apoyado mi proceso de forma constante y ha buscado siempre aportar a mi crecimiento académico.

A mis compañeros y colegas, que han apoyado mi recorrido por el Alma mater.

Al Centro de Investigación Educativa y Pedagógica (CIEP), por la financiación recibida en el Trabajo de Grado con código TG-001-2020.

Al grupo de investigación MATHEMA FIEM, espacio en el que se ha brindado su apoyo al presente proyecto.

A la Universidad de Antioquia por posibilitarme alcanzar una de mis metas.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>Planteamiento y justificación del problema .....</b>	<b>1</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>5</b>
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos. ....	5
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>Aproximación teórica a la Educación en Ciencias.....</b>	<b>6</b>
<b>El Aprendizaje Basado en Proyectos.....</b>	<b>9</b>
Fundamentación.....	9
Aportes del ABP al proceso educativo. ....	10
Diferentes estructuras del ABP.....	11
Estructura propuesta por Pecore. ....	11
Estructura propuesta por Meinardi y Sztrajman. ....	12
Estructura propuesta por Restrepo. ....	13
<b>La experimentación .....</b>	<b>14</b>
Vínculo entre el ABP y la experimentación exploratoria. ....	17
<b>El aprendizaje de la termodinámica .....</b>	<b>19</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>22</b>
<b>Criterios éticos de tratamiento de información.....</b>	<b>23</b>
<b>Análisis de datos y categorías.....</b>	<b>23</b>
<b>Implementación.....</b>	<b>25</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
<b>Equipo 1 .....</b>	<b>29</b>
<b>Equipo 2 .....</b>	<b>35</b>

<b>Equipo 3 .....</b>	<b>42</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo 1: Conocimiento informado.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tendencias propuestas por Ruiz (2007). Construcción propia .....	6
Tabla 2. Categorías de análisis de la información. Construcción propia .....	24
Tabla 3. Secuencia de actividades realizadas en el centro educativo. Construcción propia .....	25
Tabla 4. Interrogantes planteados en la A-1 .....	26
Tabla 5. Interrogantes planteados en la A-2 .....	27
Tabla 6. Interrogantes planteados en A-3 .....	27
Tabla 7. Comparación de la respuesta del E-1 a las preguntas P-2-4, P-2-5 y P-2-6 de la A-2 con lo expuesto por Bonilla (2020).....	29
Tabla 8. Propuestas realizadas por el E-1 y análisis de las propuestas .....	33
Tabla 9. Actividades diseñadas por el E-2 para la ejecución de su propuesta .....	39
Tabla 10. Fuentes de información consultadas por el E-3 en A4.....	45
Tabla 11. Aprendizajes evidenciados por equipo en cada actividad.....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparación entre las diferentes estructuras del ABP. Construcción propia .....	14
Figura 2: Articulación entre el ABP y la Experimentación exploratoria. Construcción propia.....	19
Figura 3. Simulador empleado en la A-3 con las estudiantes. ....	31
Figura 4. Diagrama PV empleado por las estudiantes para explicar el Ciclo Diesel.....	33
Figura 5. Situación planteada al E-2 en la A-3 .....	38
Figura 6. Cronograma presentado por el E-2 para la implementación de su propuesta (Registro escrito). 41	
Figura 7. Situación planteada al E-3 en la A-3 .....	44

## RESUMEN

La comunidad académica busca alternativas para trascender el aprendizaje memorístico recurrente en la clase de Ciencias. No obstante, a pesar de identificar el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y la Experimentación Exploratoria como alternativas para trascender este tipo de aprendizaje, habitualmente se integran de forma aislada y, por ende, se atiende parcialmente la problemática. Además, para el aprendizaje de la termodinámica, es importante generar vínculos con problemáticas contextuales como la contaminación ambiental. Por lo tanto, el presente estudio plantea como objetivo determinar los aportes y desafíos en el aprendizaje de la termodinámica de un proyecto que analiza la contaminación del aire en Medellín a partir de la experimentación exploratoria.

La sistematización de prácticas como *fotografía de la experiencia* reporta que los proyectos en la clase Ciencias son una propuesta que trasciende el aprendizaje memorístico, al reconocer las preguntas como punto de encuentro entre el Aprendizaje Basado en Proyectos y la Experimentación Exploratoria. Además, al caracterizar los aprendizajes que evidencian los estudiantes en el proyecto que analiza la contaminación del aire en Medellín, se identifican aprendizajes abiertos, reflexivos, críticos y en termodinámica.

**Palabras Clave:** Aprendizaje Basado en Proyectos, Experimentación Exploratoria, Aprendizaje memorístico, Aprendizaje de la termodinámica.



## ABSTRACT

The academic community looks for alternatives to transcend rote learning in science class. However, despite the Project-Based Learning (PBL) and the Exploratory Experimentation are recognized as alternatives to transcend this type of learning, they are integrated into the class in isolation; therefore, the problem is partially addressed. In this respect, it is important to build links with contextual problems such as environmental pollution to learn thermodynamics. Therefore, this study aims to determine the contributions and challenges in learning thermodynamics of a project that analyzes air pollution in Medellín city based on exploratory experimentation.

Systematization of practices such as *photography of the experience* reports that projects in science class are a proposal that transcends rote learning by recognizing the questions as a meeting point between Project-Based Learning and Exploratory Experimentation. Furthermore, it is possible to identify open, reflective, and critical learning when the student learning is characterized in a project that analyzes air pollution in Medellín.

**Keywords:** Project-Based Learning, Exploratory Experimentation, Rote Learning, Thermodynamic Learning.

# INTRODUCCIÓN

## Planteamiento y justificación del problema

La Ciencia es uno de los campos del conocimiento que más avances ha generado al ser humano en todos los aspectos de la vida cotidiana, por lo tanto, es un elemento clave para analizar y comprender las problemáticas sociales y ambientales que la humanidad enfrenta en la actualidad. En el contexto educativo colombiano, desarrollar la capacidad de valorar críticamente la Ciencia y fomentar la consolidación de competencias científicas en los estudiantes son algunos de los objetivos principales que se plantean en los Estándares Básicos de Competencias (MEN, 2006). Esto se corresponde con lo formulado por autores como Carrascosa y Domínguez (2017), quienes argumentan que en la Educación en Ciencias se debe incitar al alumnado a consolidar habilidades y conocimientos al plantear problemas que sean de su interés, que les permitan formular hipótesis y plantear alternativas para solucionarlos.

A pesar de reconocer la importancia de la Educación en Ciencias, en el caso particular de esta investigación en Física, en ocasiones, no se logran los propósitos planteados por el MEN (2006), debido a la desconexión existente entre el contexto y los elementos disciplinares que dificultan los procesos educativos en Física (Fernández, 2008; Moreira, 2017). Al respecto, Mata (2013) informa acerca del aprendizaje memorístico como uno de los problemas recurrentes en la literatura; este aspecto coincide con lo que ha identificado el centro de práctica donde se desarrolla la presente investigación, al evidenciar que los estudiantes asimilan los conceptos físicos de forma literal. La anterior situación se asume como una oportunidad para investigar y aportar a los procesos de dicha institución.

Esta investigación toma como punto de partida las observaciones realizadas en el centro de práctica, las cuales se llevaron a cabo en los grados once en el área de Física de una Institución Educativa estatal ubicada en Medellín-Colombia. El análisis de los diarios de campo iniciales permitió identificar que los estudiantes reflejan preocupaciones al afrontar factores relacionados con interpretación, comprensión y reflexión sobre las temáticas estudiadas; en particular, sobre la asimilación de los aspectos relacionados con la termodinámica, el electromagnetismo y las ondas.

Una de las posibles causas de las preocupaciones que enfrentan los estudiantes son los conocimientos adquiridos de forma memorística. Según Mata (2013), el aprendizaje memorístico se genera cuando el individuo incorpora en su proceso cognitivo información de manera literal, donde la persona no realiza un mayor esfuerzo para relacionar dichos conocimientos con los conocimientos previos de su estructura cognitiva, por lo tanto, se pueden recordar palabras u oraciones que se repiten sin tener ningún sentido. A modo de ejemplo, se analiza un episodio que se relaciona con el fenómeno de electrificación de un cuerpo por inducción, registrado en una de las visitas a la institución en mención (Diario, código: 02).

Para los estudiantes parece claro que este fenómeno sucede cuando un cuerpo electrificado se pone en cercanías de otro cuerpo sin tener contacto alguno; sin embargo, cuando se les pide que realicen la descripción teórica del proceso mediante el cual se puede electrificar un cuerpo sin necesidad de frotarlo con otro, los estudiantes no logran llevarlo a cabo. De forma similar, si se les solicita realizarlo de manera experimental, se generan dificultades en cuanto a la realización de un montaje que permita llevar a cabo la electrificación del primer cuerpo. Al abordarlo de manera teórica, los estudiantes no dimensionan la necesidad de un primer cuerpo cargado por fricción para lograr la electrificación del segundo; análogamente sucede en la realización experimental, pues no se entiende el papel que cumple el cuerpo electrificado previamente. (Diario, código: 02).

El episodio anterior permite identificar que los estudiantes reflejan un aprendizaje memorístico. Al analizar la forma en que resuelven los interrogantes que se formularon en las prácticas experimentales, parafrasean las definiciones que previamente han consultado, escriben de manera textual o no se escribe información al respecto; es decir, no reflejan una reflexión sobre lo estudiado con anterioridad (Mata, 2013).

Los razonamientos que realizan los estudiantes, de acuerdo con Garcia y Estany (2010), derivan usualmente de actividades experimentales que solicitan seguir una serie de pasos hasta un resultado esperado, es decir, la verificación de la teoría. En este sentido, una de las posibles causas del aprendizaje memorístico reside en el tipo de experimentación guiada que se emplea en las dinámicas de la clase que abordan el fenómeno de electrificación (Garcia y Estany, 2010). En general, las actividades experimentales pueden ser visualizadas desde dos perspectivas que se han consolidado a través de la historia de la Ciencia: como actividades que se realizan para la

corroboración -experimentación guiada- o como actividades que se realizan para la construcción de teorías científicas a partir de la indagación -experimentación exploratoria- (Hacking, 1996; Ferreiros y Ordoñez, 2002; Garcia y Estany, 2010).

La situación del contexto presentada previamente, más que un caso aislado en la institución donde esta investigación se desarrolló, es una problemática reportada en otros escenarios en los cuales se enfatiza la necesidad de ampliar el panorama respecto a la conexión, interpretación, comprensión y aplicación de la teoría en el aprendizaje de la Física. Al respecto, uno de los problemas encontrados en las últimas décadas es la pérdida del interés en el estudio de la Ciencia que repercute en el proceso de aprendizaje de la misma (Fernández, 2008); esta pérdida de interés se debe a la desconexión entre el contenido teórico que se dicta en las escuelas y los fenómenos presentes en la cotidianidad de los alumnos.

En consecuencia, esta desconexión de lo cotidiano y la Ciencia evidencia una falta de articulación entre las teorías y los diferentes fenómenos que suelen ser cercanos a los alumnos. Por lo tanto, un aprendizaje memorístico de los conceptos físicos deriva de no establecer una articulación entre diferentes disciplinas, en otras palabras, la ausencia de actividades interdisciplinarias. Un ejemplo de este hecho sucedió en la institución cuando se abordaron en termodinámica los diagramas PV (presión versus volumen): los estudiantes realizaron un gráfico que representaba un sistema termodinámico a presión constante, pero no lo lograron elaborar una recta paralela al eje de las abscisas que representaba el volumen (Diario, código: 02).

Los problemas mencionados acerca de la descontextualización del conocimiento (Fernández, 2008) y el tipo de experimentación empleada en la Educación en Ciencias (Garcia y Estany, 2010) evidencian, como algunos autores señalan, la existencia de diversas dificultades en el aprendizaje de esta disciplina; además, estas dificultades se corresponden con la situación encontrada en el centro de práctica, en relación al aprendizaje memorístico. De igual forma, se articula con casos reportados en la literatura sobre la desconexión de la Educación en Ciencia con el contexto (Barbosa y Castro, 2007) y el desconocimiento de las ideas previas de los estudiantes al abordar elementos disciplinares como la temperatura y el calor (Delgado, Flores y Trejo, 2002), que corresponden a las temáticas del nivel de formación en el cual se encuentran los estudiantes del contexto que es escenario de la presente investigación.

Con el fin de tener una aproximación contextual de los estudiantes con la Educación en Ciencia se toma como punto de partida la contaminación ambiental de la ciudad de Medellín, debido a que en el momento de desarrollar esta investigación había una preocupación por la calidad del aire de la ciudad tal y como se reflejaba en los artículos de periódico de los meses de febrero y marzo del año 2020 (Bonilla, 2020). Además, Barbosa y Castro (2007) señalan que abordar la contaminación ambiental resulta significativo para el aprendizaje de la termodinámica debido a que es una temática abordada en los medios de comunicación, que afecta la población mundial y genera un fuerte vínculo con los contextos donde se sitúa el proceso educativo.

En síntesis, hasta este punto se pone en evidencia que los estudiantes de la institución reflejan una de las problemáticas más recurrentes en la Educación en Ciencias: el aprendizaje memorístico (Mata, 2013). Además, una de las posibles consecuencias de esta problemática es la experimentación guiada (García y Estany, 2010), que genera una desconexión entre el contenido teórico memorizado y los fenómenos presentes en la cotidianidad; esta se reconoce como una de las causas de la pérdida del interés en el estudio de las Ciencias (Fernández, 2008). Al respecto, Moreira (2017) enuncia que para trascender el aprendizaje memorístico se requiere centrar el proceso educativo en el estudiante como uno de los principales objetivos de la Educación en el siglo XXI.

En consecuencia, resulta pertinente retomar el Aprendizaje Basado en Proyectos (en adelante, ABP) por los alcances reportados en la literatura. Esta metodología propone producir un aprendizaje significativo en los estudiantes a través de preguntas problema planteadas a partir de su contexto (Sanmartí y Márquez, 2017) y de procesos educativos interdisciplinarios (Carmona-Mesa et al., 2019). No obstante, el vínculo entre el ABP y la experimentación exploratoria en la clase de Física es un objeto de estudio abierto a investigación (Rojas-González y Carmona-Mesa, 2020) y en el aprendizaje de conceptos disciplinares específicos como la termodinámica a partir de la contaminación ambiental. Por lo tanto, se propone la pregunta de investigación:

¿Cuáles son los aportes en el aprendizaje de la termodinámica de un proyecto que analiza la contaminación ambiental de Medellín a través de la experimentación exploratoria?

## **Objetivos**

### **Objetivo general.**

Determinar los aportes y desafíos en el aprendizaje de la termodinámica de un proyecto que analiza la contaminación del aire en Medellín a partir de la experimentación exploratoria.

### **Objetivos específicos.**

- Establecer el principal punto de encuentro entre el Aprendizaje Basado en Proyectos y la experimentación exploratoria como oportunidad para abordar conceptos en la clase de Ciencias.
- Caracterizar los aprendizajes que evidencian los estudiantes en un proyecto que analiza la contaminación del aire en Medellín a partir de la experimentación exploratoria.

## MARCO TEÓRICO

En el capítulo anterior se presentó el objeto de estudio. Para fundamentarlo, se amplía a continuación las perspectivas teóricas que resultan relevantes en la presente investigación. Estas son la Educación en Ciencias (Física), el Aprendizaje Basado en Proyectos, la experimentación y aprendizaje de la termodinámica

### Aproximación teórica a la Educación en Ciencias

Cuando se piensa en indagar acerca de la Educación en Ciencias es importante identificar algunas de las tendencias reconocidas en la comunidad académica con el fin de localizar apuestas educativas que permitan atender los objetivos. En coherencia, se retoman los trabajos realizados por Ruiz (2007) y Moreira (2017) donde se abordan algunos aspectos de la Educación en Ciencias desde diferentes perspectivas que permiten identificar elementos que se deben tener en cuenta en los procesos Educativos.

Tabla 1: *Tendencias propuestas por Ruiz (2007). Construcción propia*

<b>Tendencia</b>	<b>Rol del profesor</b>	<b>Rol del estudiante</b>	<b>Perspectiva de la Ciencia</b>
Transmisión-recepción	Portavoz de la Ciencia	Pasivo	Terminada
Descubrimiento	Coordina	Activo (se construye la Ciencia)	Terminada
Recepción significativa	Guía	Activo (se tiene en cuenta sus conocimientos previos)	Terminada
Cambio conceptual	Dirige	Pasivo (sus conocimientos previos deben ser erradicados)	Terminada, sin relación alguna con los conocimientos previos de los estudiantes
Investigación	Plantea problemas	Activo, presenta sus propias posturas	No terminada
Miniproyectos	Acompaña al estudiante en su proceso	Activo, su aprendizaje es autónomo	No terminada

En primer lugar, se identifica que Ruiz (2007) establece seis tendencias: transmisión - recepción, descubrimiento, recepción significativa, cambio conceptual, investigación y

miniproyectos. Estas tendencias se caracterizan con tres aspectos relevantes: rol del profesor, rol del estudiante y la perspectiva que se asume acerca de la Ciencia. La Tabla 1 permite visualizar lo expuesto por Ruiz (2007) sobre de cada una de estas tendencias en torno a los tres aspectos enunciados, enseguida se describe, grosso modo, cada una de las tendencias centrándose principalmente en los miniproyectos.

Respecto a la tendencia de transmisión-recepción, Ruiz (2007) establece que se presenta la Ciencia como algo terminado, el papel del estudiante se limita a un sujeto pasivo y el profesor “se convierte en el portavoz de la ciencia” (p.1). En resumen, es una manera tradicional de abordar los procesos Educativos en donde el lugar del profesor está en el tablero escribiendo y el del alumno transcribiendo en su cuaderno.

En cuanto a la tendencia por descubrimiento, la Ciencia se asume de manera análoga al modelo anterior, varía en la relación que se establece entre el estudiante y la Ciencia, pues se tiene una mayor proximidad al conocimiento al “construirlo” a través de observaciones realizadas en su entorno (Ruiz, 2007). Por tanto, el estudiante pasa a ser un sujeto activo y el profesor cumple un trabajo de director, que brinda fortalezas para investigar (Ruiz, 2007).

Respecto a la recepción significativa, Ruiz (2007) plantea que el profesor reconoce los conocimientos previos de los estudiantes, aunque su rol continúa siendo el del poseedor del conocimiento.

En cuanto al cambio conceptual, los saberes previos de los estudiantes deben ser “erradicados” o “cambiados” (Ruiz, 2007). En este sentido, se presenta el llamado "conflicto cognitivo" donde el conocimiento científico no puede ser relacionado con el conocimiento cotidiano.

Respecto a la tendencia por investigación. Si bien afirma que la Ciencia y lo cotidiano resultan incompatibles, al tener un enfoque constructivista, no niega la incidencia que tiene el contexto en la construcción de la Ciencia y la importancia de mostrar a la Ciencia en el contexto (Ruiz, 2007). Así mismo, niega el carácter acabado de la Ciencia, es decir, la plantea como conocimiento en construcción constante (Ruiz, 2007).

Al considerar las intenciones del presente trabajo de investigación, se desarrolla con un mayor detalle la sexta tendencia propuesta Ruiz (2007). En los miniproyectos, el estudiante



posee un papel activo en la construcción de conocimiento y se reconoce como un sujeto con presaberes, es decir, no es un sujeto vacío. El rol del profesor es acompañar al estudiante para asesorarlo y propiciar un aprendizaje significativo; además de que la Ciencia no es vista como algo terminado, la Ciencia tiene un carácter dinámico, es decir, no se le ve como algo ya terminado o con única forma de ser abordado (Ruiz, 2007).

Lo anterior explica, grosso modo, el papel del estudiante, el profesor y de la misma Ciencia en esta tendencia de Educación en Ciencia. Sin embargo, es importante ampliar la idea de miniproyecto en cuanto a las características y su estructura. Para empezar, este consiste en plantear un problema relacionado con el contexto de los estudiantes y sus principales características son: "no posea solución inmediata, el desarrollo de un trabajo práctico, la aplicación de conceptos y otros aspectos que muestran cómo el trabajo de aula se desarrolla dentro de un ambiente de interacción dialógica entre estudiantes y docente" (Ruiz, 2007, p. 54).

Además de la caracterización hecha hasta este punto, Ruiz (2007) señala que en este modelo se deben tener en cuenta siete fases que son fundamentales para su desarrollo, estas son: objeto de estudio, formulación de objetivos problema y logros curriculares, problema a desarrollar, acercamiento temático, análisis y reflexión teórica, trabajos o talleres individuales y grupales, evaluación de la evolución conceptual y metacognitiva. Con esto, Ruiz (2007) invita a la reflexión constante del proceso educativo, para propiciar lo que él llama aprendizaje significativo; esta reflexión no es sólo de parte del maestro, es también labor del estudiante.

De esta forma, lo que Ruiz (2007) plantea corresponde en gran medida a algunas de las exigencias que hace la Educación del siglo XXI en cuanto a los procesos educativos en Ciencia centrada en el alumno; el conocimiento enfocado en problemas que son familiares para los estudiantes, tal como lo enuncia Moreira (2017). Este autor resalta un conjunto de elementos que deberían estar presentes en la Educación en Ciencia en la actualidad, entre ellos se destacan: abordar problemas reales en el aula, desarrollar aspectos relacionados con la base social, el profesor como un mediador entre el conocimiento y el alumno, no buscar talentos sino construirlos y, finalmente, incorporar el uso de las TIC en el aula, lo que corresponde en gran medida con lo expuesto por Ruiz (2007) acerca de los miniproyectos.

En línea con lo anterior es pertinente asumir estrategias de Educación en Ciencia que se caractericen por la resolución de problemas enfocados en aspectos culturales y contextuales

(Moreira, 2017), que permitan que el estudiante tenga voz propia en su proceso de aprendizaje y lo relacione con sus conocimientos previos dejando de lado la postura conductista que pretende mostrar a la Ciencia como algo terminado e inmutable. En consecuencia, esta investigación toma el Aprendizaje Basado en Proyectos como uno de sus fundamentos conceptuales, pues satisface las características enunciadas y otras tantas que pueden favorecer la obtención de nuevos aprendizajes para los estudiantes que hacen parte del proceso investigativo.

## **El Aprendizaje Basado en Proyectos**

Para delimitar las contribuciones del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se desarrollan a continuación tres aspectos claves: fundamentación, aportes a la educación y algunas de sus estructuras halladas en la literatura.

### **Fundamentación.**

El ABP es una propuesta educativa cuyos inicios más estructurados se encuentran el siglo XX con John Dewey, quien plantea de forma inicial procesos educativos que se centran en el estudiante (Meinardi & Sztrajman, 2015). Posteriormente, William Kilpatrick lo estructura de manera detallada siguiendo cinco pasos: identificar y definir el problema, establecer una hipótesis, investigación, formulación de conclusiones, aplicar las conclusiones a la hipótesis inicial (Pecore, 2015). En general, el ABP se centra en resolver o analizar un problema por medio de una o varias preguntas de investigación donde el problema no tiene una solución inmediata, pues se busca que suscite más preguntas en el proceso (Pecore, 2015; Meinardi & Sztrajman, 2015; Sanmarti y Márquez, 2017).

La búsqueda de una solución a la pregunta hace que los estudiantes, de manera autónoma y a partir de trabajos colectivos con sus compañeros, emprendan una indagación que es asesorada por el profesor, a través de la que el estudiante reflexiona constantemente y se favorece un proceso de metacognición (Sanmarti y Márquez, 2017). De ahí que Sanmartí y Márquez (2017) establezcan que el ABP puede ayudar a adquirir las competencias científicas como “poder entender y participar en debates críticos sobre temas de ciencia y tecnología” (p.4); esto coincide con las exigencias curriculares de adquisición de pensamiento crítico planteadas por el MEN (2006).

Con el fin de alcanzar estas competencias científicas, es importante reportar que, en la literatura consultada, el ABP establece una relación transversal entre diferentes áreas del conocimiento (Carmona-Mesa et al., 2019; Meinardi & Sztrajman, 2015). Al respecto, se reconoce que la interdisciplinariedad permite abordar una determinada problemática y analizarla desde diferentes ángulos y con aportes de diferentes áreas (Meinardi & Sztrajman, 2015; Klein, 2010).

Al momento de hablar de interdisciplinariedad se producen grandes dificultades, ya que es un término que varía su significado entre los diferentes autores (Grisolía, 2008). De este modo, se toma como base la perspectiva de Grisolía (2008) y Klein (2010) que coinciden en establecer la interdisciplinariedad como la convergencia de diferentes disciplinas con el fin de resolver un problema común. Adicionalmente, Grisolía (2008) establece que en la “interdisciplinariedad se involucran métodos y saberes de distintas disciplinas y se aplican a un problema determinado, el cual no concierne únicamente a una misma disciplina, sino que puede ser abordado mediante diversos ángulos o puntos de vista” (p.4).

Al considerar el ABP como una oportunidad para la convergencia de diversas disciplinas que tienen como fin la resolución de un problema (Meinardi & Sztrajman, 2015), se puede afirmar que es una metodología que brinda la posibilidad de establecer relaciones interdisciplinarias, por ejemplo, entre las Matemáticas, la Física, las nuevas Tecnologías, las Ciencias Sociales, entre otras (Carmona-Mesa et al., 2019). De este modo, resulta posible trascender el aprendizaje memorístico que se evidenció en la institución en la que se lleva a cabo la presente investigación. Sin embargo, cabe resaltar que Carmona-Mesa, Cardona y Castrillón-Yepes (2020) señalan que, si bien integrar actividades interdisciplinarias en los procesos Educativos de termodinámica puede aportar a la formación de los estudiantes, se puede caer en el error de no delimitar aspectos particulares disciplinares de las disciplinas que se están integrando y que estos sean asumidos de forma superficial o secundaria.

### **Aportes del ABP al proceso educativo.**

El ABP suscita un aprendizaje abierto, reflexivo y crítico, con el objetivo de formar estudiantes autónomos en sus procesos educativos (Morales, 2018). En cuanto al aprendizaje abierto, surge a partir de la integración de los recursos disponibles en ambientes virtuales y la

gran disponibilidad de acceso a ellos (Okada, 2007). Los estudiantes se apropian de sus procesos educativos y tienen gran variedad de herramientas como artículos, videos, software libre, etc. De este modo, pueden orientar su proceso de la forma en que ellos lo requieren o lo demanda el problema del contexto que estudian (Okada, 2007).

Por otra parte, el aprendizaje reflexivo constituye un “medio para el desarrollo del ser humano, en una posibilidad de controlar y destrabar los reduccionismos de las teorías que quieren encerrarlo en lo que hoy es o en lo que ha sido” (Daros, 1992, p.6). En este tipo de aprendizaje se lleva a cabo a través de las prácticas; algunos de sus rasgos “son la interacción, la reflexión y el contraste para poder construir y reconstruir conocimiento” (Alsina, 2010, p.151). De forma similar, el aprendizaje crítico se caracteriza por el hecho de que los estudiantes, a pesar de estar inmersos en un conjunto de elementos culturales, tienen la capacidad de hacer observaciones internas y externas de ellos (Moreira, 2000). Por ejemplo, el estudiante está inmerso en una cultura, sin embargo, logra tener un punto de vista global acerca de ella y no solo el que le es permitido al estar inmerso en ella (Moreira, 2000).

En consecuencia, se identifica que el ABP fomenta tres tipos de aprendizaje: abierto, reflexivo y crítico. Estos elementos pueden ser resumidos en un proceso educativo centrado en el estudiante que posibilita el uso de múltiples recursos en los que se resaltan las TIC y las reflexiones que suscita acerca de su contexto enfocándose en problemas reales que hacen posible trascender el aprendizaje memorístico.

### **Diferentes estructuras del ABP.**

En la literatura se encuentran variaciones en estructuras propuestas para llevar a cabo el ABP, es decir, se diversifica por autor la denominación y número de las fases que comprende el ABP. Sin embargo, es posible establecer puntos en común respecto a los autores consultados. A continuación, se realiza una síntesis de tres estructuras registradas en la literatura, se presenta un cuadro comparativo y, por último, se posiciona la estructura a seguir en la presente investigación.

#### ***Estructura propuesta por Pecore.***

Esta estructura es propuesta por Pecore (2015), quien desarrolla una estructura lógica que consta de cinco fases: identificar y definir el problema, establecer una hipótesis de investigación,

investigar, formular conclusiones y aplicar conclusiones a la hipótesis inicial. Esta estructura se asemeja a lo que se considera tradicionalmente como método científico.

En ese sentido, la fase identificar y el definir problema corresponde a clarificar qué se va estudiar y determinar cuál es la pregunta que orienta el proceso; la segunda fase corresponde a la formulación de hipótesis que está relacionada con establecer los resultados esperados, es decir, cuál se cree que será la solución al problema; la tercera fase de investigar corresponde a la búsqueda de información, recolección y análisis de datos orientados a resolver el problema; la cuarta fase de formular conclusiones está vinculada con el análisis de datos para, de esta forma, presentar afirmaciones que respondan al problema inicial y generar las conclusiones que el trabajo de investigación ha dado como fruto; finalmente, la quinta fase de aplicar conclusiones a la hipótesis inicial corresponde a comparar los resultados obtenidos con los resultados esperados para reafirmar o negar la hipótesis inicial.

#### ***Estructura propuesta por Meinardi y Sztrajman.***

La segunda estructura es propuesta por Meinardi & Sztrajman (2015). Los autores plantean tres fases: planeación, ejecución del proyecto y evaluación del proyecto. La primera fase corresponde a la planeación. En esta etapa, el profesor debe plantear los objetivos y realizar el diseño de actividades que resulten pertinentes para alcanzarlos (Meinardi & Sztrajman, 2015). Además, el profesor debe realizar una planeación que tenga en cuenta las posibles rutas a tomar, la secuencia de actividades y, de ser preciso, la intervención del profesor y la respectiva evaluación (Meinardi & Sztrajman, 2015).

La segunda fase es denominada ejecución del proyecto. Esta etapa inicia con una pregunta que delimite el rumbo del proyecto y esté acorde con el objetivo planteado en la fase anterior (Meinardi & Sztrajman, 2015). La pregunta (o preguntas) hará que los estudiantes tengan que abordar temáticas disciplinares con el fin de resolver el problema.

La tercera fase se denomina evaluación del proyecto. En esta etapa se debe tener en cuenta que esta es una evaluación de proceso, es decir, es de carácter sumativo. En este sentido, los autores plantean que se debe llevar registro detallado de las actividades que se desarrollan para favorecer una reflexión tanto del profesor como de los estudiantes sobre los resultados obtenidos (Meinardi & Sztrajman, 2015).

### ***Estructura propuesta por Restrepo.***

La tercera estructura es propuesta por Restrepo (2005), quien propone desarrollarla a través de nueve fases: preparar a los estudiantes para el ABP, presentar el problema, traer a cuento lo que se sabe sobre el asunto, definir bien el planteamiento del problema, recoger y compartir información pertinente, generar soluciones posibles, evaluar las soluciones tentativas aportadas, evaluar el desempeño del proceso, resumir la experiencia alcanzada al tratar el problema (Restrepo, 2005).

La primera fase, preparar a los estudiantes para el ABP, corresponde a una introducción previa que se les da a los estudiantes con el fin de familiarizarlos con la metodología (Restrepo, 2005). La segunda fase corresponde a presentar el problema, donde los estudiantes se familiarizan con el problema a tratar. La tercera fase de traer a cuento lo que se sabe sobre el asunto consiste en compartir los presaberes de los participantes con el fin de definir qué se requiere saber, es decir, lo que requiere ser investigado (Restrepo,2005).

La cuarta fase, definir bien el planteamiento del problema, corresponde a delimitar qué se pretende hacer de manera concisa con el problema a resolver para facilitar su solución (Restrepo,2005). La quinta fase, recoger y compartir información pertinente, es llevar a cabo un proceso de investigación sobre lo que se requiere saber (Restrepo, 2005).

La sexta fase, generar posibles soluciones, tiene como fin elaborar propuestas iniciales de solución para el problema, al tener en cuenta los insumos adquiridos en las fases anteriores. (Restrepo,2005). La séptima y octava fase se centran en evaluar las soluciones tentativas con el fin de determinar su pertinencia y en evaluar el proceso realizado con el fin de generar conciencia a partir de los avances realizados. Finalmente, la novena fase corresponde a resumir la experiencia alcanzada al tratar el problema, se centra en analizar y sintetizar los resultados obtenidos a través de las ocho fases anteriores (Restrepo,2005)

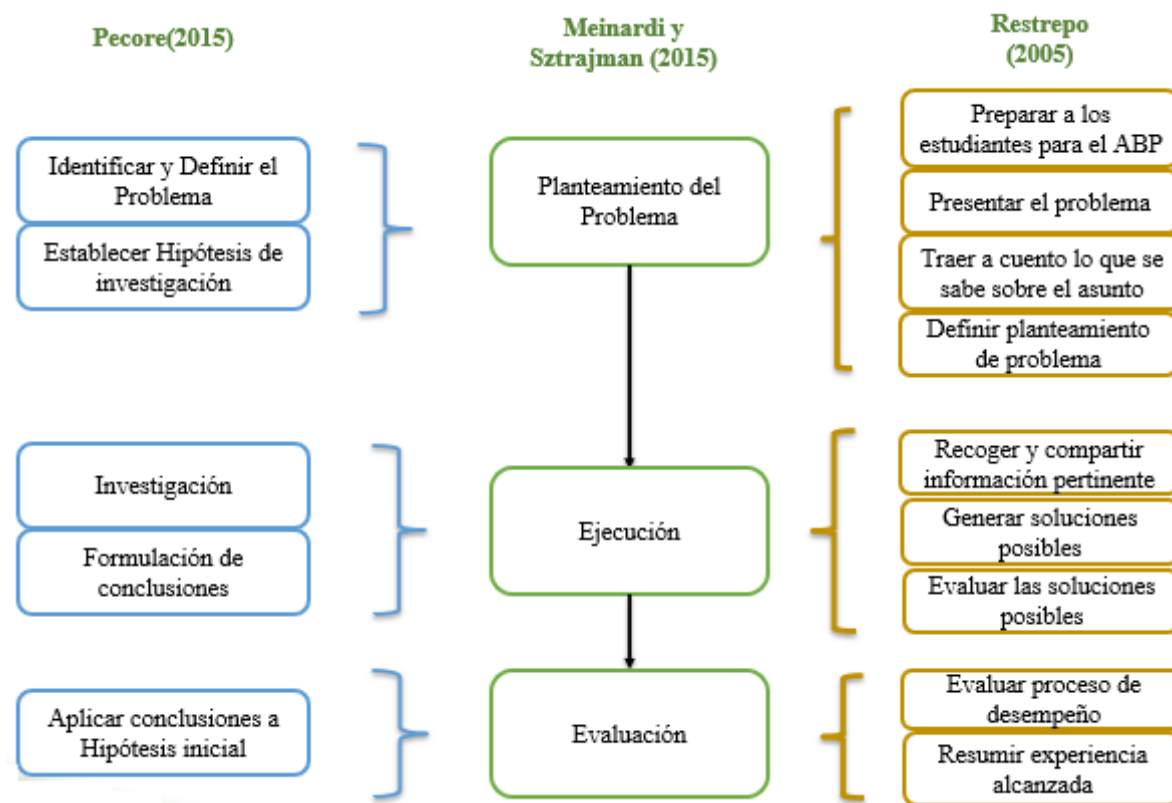


Figura 1: Comparación entre las diferentes estructuras del ABP. Construcción propia

En la Figura 1 se establece una correspondencia entre los planeamientos de Perore (2015), Meinardi & Sztrajman (2015) y Restrepo (2005). Es importante aclarar que esta investigación retoma la estructura planteada por Meinardi & Sztrajman (2015) porque retoma todos elementos de las otras estructuras presentadas y llevarla al aula de clase resulta más sucinto al ser abordada con los estudiantes. Sin embargo, si se tiene en cuenta el nivel de escolaridad a la que está dirigida, se anexa un paso previo para el acercamiento al ABP que corresponde a la primera fase propuesta por Restrepo (2008).

## La experimentación

En el planteamiento del problema se argumentó que el tipo de experimentación que se lleva a cabo en la clase de Ciencias tiende a favorecer aprendizajes específicos, en particular, la experimentación guiada favorece un aprendizaje memorístico (Garcia y Estany, 2010). En esta línea, se hace necesario buscar alternativas para la comprensión de las teorías científicas más que

para su memorización, por tanto, en esta investigación se asume que el propósito de la teoría es explicar fenómenos a partir de estructuras complejas (Hodson, 1985).

En consecuencia, al indagar acerca de las posturas en torno a la experimentación es posible determinar que se conceptualizan a partir del papel que cumple la actividad de la experimentación respecto a la teoría (Ferreiros y Ordoñez, 2002; Hacking, 1996). La primera corriente es la experimentación de carácter guiado y la segunda es la experimentación de carácter exploratorio. En la presente investigación se delimitan ambas concepciones a partir de las perspectivas de Ferreiros y Ordoñez (2002) y Hacking (1996), posteriormente, se enfatiza en la manera que se puede abordar la experimentación exploratoria en el aula de clase retomando a Garcia y Estany (2010).

La experimentación es un procedimiento que tiene dos objetivos dependiendo de la perspectiva en la cual se enmarque. En el caso de Hacking (1996), destacan dos tipos de acepciones sobre la experimentación: la primera corresponde a la experimentación que tiene como objetivo el corroborar una teoría, pertenece a una mirada positivista de la Ciencia y a partir de enunciados teóricos ya establecidos; en la segunda se encuentra la experimentación como una manera de generar conocimiento. Al respecto, se infiere que Hacking (1996) pretende mostrar que la experimentación cumple el papel de corroborar teorías, sin embargo, las teorías se pueden formular a partir de la experimentación. En el primer caso, la experimentación se realiza de manera pasiva y está ligada a la observación y, en el segundo, posee un papel activo en la generación de conocimiento.

De forma similar, Ferreiros y Ordoñez (2002) proponen dos perspectivas, la primera denominada como experimentación guiada y la segunda denominada experimentación exploratoria. En el primero de los casos se comprende la experimentación como una actividad delimitada por una serie de pasos para llegar a un resultado, un tipo de receta para llegar a la corroboración de una teoría. En el caso de la experimentación exploratoria, se dota a la experimentación de un rol activo en la construcción de conocimiento, no hay una receta y no se delimita la observación; en ella se construye nuevo conocimiento para los alumnos.

Es importante aclarar que Hacking (1996) no hace una distinción explícita del lugar y el momento en el que se realiza la experimentación; a pesar de ello, ambos autores permiten intuir ideas al respecto. En cuanto al lugar, cuando se analiza lo expuesto por Hacking (1996) es



posible establecer que no siempre se lleva a cabo en un laboratorio ni en un espacio aislado del mundo real, por lo contrario, la Ciencia se construye en diversos lugares que se encuentran en condiciones naturales (un bosque, una montaña, un río, entre otros). Un ejemplo de esta situación es el caso de la construcción del barómetro porque, quienes pretendían analizar la manera en que funcionaba el instrumento, tuvieron que someterlo a variaciones en el entorno, como ir a un lugar más alto, un lugar más húmedo, etc. (Hacking, 1996). Sin embargo, no se debe caer en el error de afirmar que el laboratorio no corresponde a uno de los posibles lugares en donde se lleva a cabo la experimentación, eso dependerá de la intencionalidad que tenga el científico o, en este caso, el profesor.

En cuanto al momento en el que se realiza la experimentación se establece según la intencionalidad del científico. Si se pretende corroborar teorías, la teoría antecede al experimento, en caso contrario, el experimento será la base para construir la teoría (Hacking, 1996). Hasta este punto se aclararon aspectos respecto a las dos posturas encontradas en torno a la experimentación y cuál es su aporte a la construcción de conocimiento. Sin embargo, es necesario trascender el punto de vista centrado en el ámbito científico y proyectarlo a las actividades educativas.

En esta línea, Romero y Aguilar (2013) enuncian que “la actividad experimental en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Física no puede abordarse de manera independiente y desarticulada de la actividad de construcción conceptual” (p.12). En este sentido, al llevar a cabo la experimentación exploratoria no se pretende desconocer el papel que juega la teoría en la Ciencia en cuanto tienen una relación de complementariedad. Por lo anterior, desde la perspectiva de Garcia y Estany (2010), se describe cómo es posible emplear la práctica experimental de carácter exploratorio en los procesos educativos.

La experimentación exploratoria debe fundamentarse en que los estudiantes vayan más allá de la situación que se plantea. Por este motivo, es de gran importancia que las preguntas formuladas en dicha actividad no sean afirmativas (Garcia y Estany, 2010), es decir, las preguntas que anteceden la experimentación de carácter exploratorio deben incitar a los estudiantes a formular nuevas situaciones, a variar las condiciones experimentales que inicialmente han sido planteadas (Garcia y Estany, 2010) y, de esta forma, a partir de sus propias

reflexiones para retomar elementos que resulten en una apropiación conceptual que trascienda lo memorístico.

Un ejemplo proporcionado por Garcia y Estany (2010) gira en torno a la electricidad. Las preguntas que se emplean para abordar la práctica experimental son:

¿Se manifiesta la electrificación solamente en algunos materiales?, ¿es posible que cualquier objeto de la naturaleza al ser frotado adquiera también la virtud de atraer?, los objetos al ser frotados ¿evidencian el mismo grado de atracción sobre el detector?  
¿Afecta el grado de atracción si el material con el que es frotado el objeto cambia? (p.20)

Se evidencia que estas preguntas son una invitación a la indagación, fundamentándose en ampliar el panorama sobre la temática. Esto se lleva a cabo a la luz de una teoría que posiblemente los alumnos desconozcan, al igual que Faraday y otros científicos lo hicieron en el momento que la teoría fue formulada. Sin embargo, esto no significó un impedimento para comprender los fenómenos y contribuir a la Física y, en particular, a la teoría electromagnética.

### **Vínculo entre el ABP y la experimentación exploratoria.**

Hasta este punto se ha planteado la posibilidad de trascender el aprendizaje memorístico de termodinámica por medio del ABP en tanto vincula el contexto de los estudiantes (Meinardi & Sztrajman, 2015) y, de este modo, se responde a los planteamientos acerca de la manera en que incide la desconexión de elementos disciplinares con el contexto que favorecen el aprendizaje memorístico en los estudiantes. Además, se enunció que a partir del ABP se pueden establecer conexiones interdisciplinares que aportan en el proceso educativo; sin embargo, si el proyecto es desarrollado de forma desprevénida, es posible que el enfoque se centre en una disciplina diferente a las Ciencias (Carmona-Mesa et al., 2020), lo cual deja de lado el enfoque inicial y las reflexiones en torno a la termodinámica.

Del mismo modo, se retomó a Garcia y Estany (2010) quienes enuncian que la experimentación exploratoria permite trascender el aprendizaje memorístico en tanto suscita reflexiones en la disciplina específica que es estudiada y esto se desarrolla por medio de preguntas que invitan a la indagación. Sin embargo, la experimentación no vincula de manera

explicita el contexto de los estudiantes y en consecuencia se atiende la problemática del aprendizaje memorístico de manera parcia.

En coherencia con lo anterior, se plantea la vinculación de ambas opciones con el fin de contrarrestar de forma amplia el aprendizaje memorístico. Al respecto, es posible resaltar que el ABP tiene matices que dependen de la disciplina en la cual se emplea. Por ejemplo, Cristancho y Cristancho (2018) y Paredes, Gutiérrez, López y Giraldo (2015) emplean el ABP en la clase de Matemáticas. Sus estudios permiten identificar que el ABP centra la atención en la obtención de datos a partir de operaciones Matemáticas. Por otra parte, Antón (2016) y Giraldo (2019) desarrollan proyectos por medio del ABP en Física y se puede identificar que, para estos autores, el papel de la experimentación resulta relevante en cuanto es posible realizar la medición de diferentes magnitudes físicas que permiten realizar una reflexión acerca del problema en cuestión y recolectar datos.

Se evidencia un primer vínculo entre el ABP y experimentación cuando es desarrollado el primero en Física, en tanto surgen procesos experimentales en la ejecución del proyecto. Además, es posible identificar otro elemento relevante en cuanto en el ABP a partir de preguntas intencionadas se delimita el problema de investigación (Meinardi & Sztrajman, 2015), del mismo modo la experimentación exploratoria a partir de preguntas no afirmativas permite la reflexión de los estudiantes acerca de elementos de termodinámica (Garcia & Estany, 2010).

Para ejemplificar las ideas anteriores con respecto a la implementación del ABP dependiente de la naturaleza de la Ciencia en la cual se lleva a cabo, se analiza a continuación la contaminación de la ciudad de Medellín en clave de las Matemáticas y en clave de las Ciencias. Para el primer caso, el análisis se fundamenta en datos que pueden estudiarse de manera estadística y que se obtienen de las bases de datos de la Alcaldía de Medellín; para el segundo caso, los datos pueden ser proceso de experimentación exploratoria por medio del uso de sensores que, a partir de preguntas que invitan a la indagación y variación de las condiciones experimentales, permitan un proceso de reflexión en torno a los elementos de termodinámica (Figura 2).

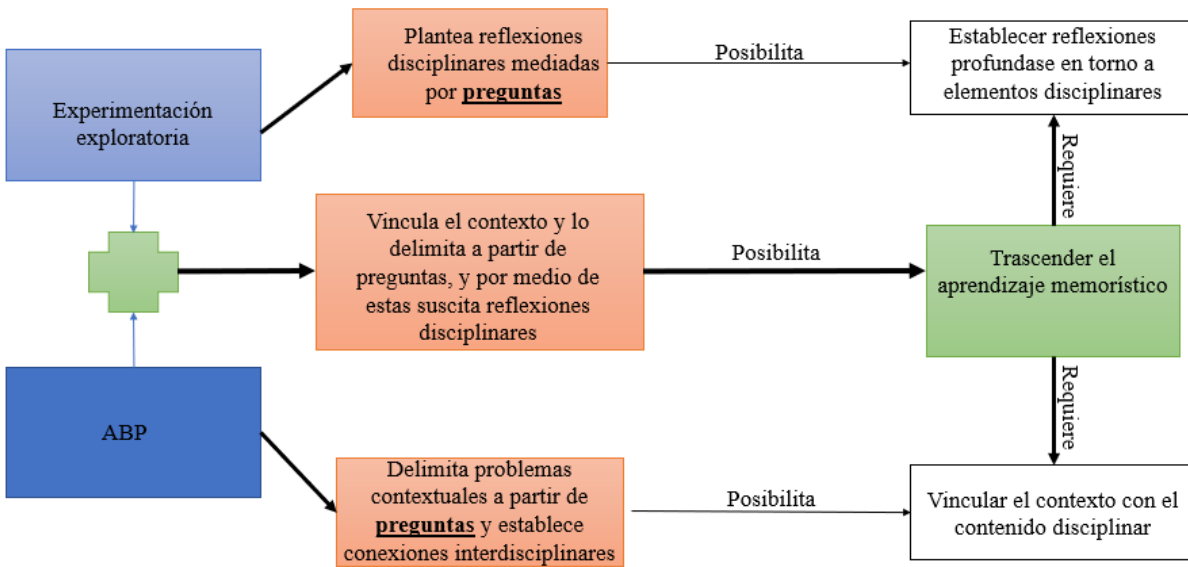


Figura 2: Articulación entre el ABP y la Experimentación exploratoria. Construcción propia

## El aprendizaje de la termodinámica

Con el fin de abordar elementos del aprendizaje de la termodinámica, se identifican las dificultades que se presentan en los procesos educativos de esta rama de la Física; por tanto, se reconocen algunas propuestas que explicitan las dificultades encontradas. Al respecto, Delgado et al (2002) plantean que el principal problema del aprendizaje de la termodinámica se encuentra en las ideas previas que tienen los alumnos y su invisibilización por parte del maestro. Estos mismos autores enuncian cuatro ideas previas que los estudiantes traen consigo al aula de clase: creencias que se tienen acerca del calor, creencias o concepción de lo que es la temperatura, ideas de equilibrio térmico e ideas acerca de los fenómenos térmicos asociados al cambio de fase.

En cuanto a la idea que se tiene de calor, se identifican varias creencias que reflejan los estudiantes: creer que el calor es una sustancia, asumir que el calor no es una forma de energía, suponer una relación de proporcionalidad entre el calor y la temperatura, considerar su igualdad con la temperatura, etc. (Delgado et al., 2002). La segunda se refiere a la temperatura en donde se asume que esta es la medida de la intensidad del calor, depende del tamaño de los cuerpos, no

está acotada, puede ser transferida y al calentar un cuerpo siempre hay una variación de temperatura (Delgado et al., 2002).

La tercera idea previa corresponde al equilibrio térmico, “objetos en contacto por mucho tiempo en el mismo medio ambiente poseen diferentes temperaturas si están hechos de materiales diferentes; los objetos calientes se enfrían naturalmente y los fríos se calientan” (Delgado et al., 2002, p.587). La cuarta idea corresponde a los fenómenos térmicos relacionados con el cambio de fase. Al respecto se enuncia la creencia de que la temperatura de un cuerpo no es constante cuando está ebullendo: la temperatura en la cual el agua cambia de fase por ebullición es siempre 100 grados Celsius y el hielo no puede estar a una temperatura diferente a los 0 grados Celsius (Delgado et al., 2002).

Delgado et al. (2002) sostienen que una de las principales causas en las falencias de la comprensión conceptual por parte de los estudiantes es la manera como se abordan las temáticas en la clase de Física, en cuanto se limita a una Educación en Ciencia tradicional y se evalúa de igual manera, centrándose en la transmisión de conceptos y resolución mecánica de problemas. Los autores hacen hincapié en el hecho de que este tipo de metodología se enfoca exclusivamente en la adquisición de habilidades Matemáticas.

Por otra parte, Barbosa y Castro (2007) establecen que uno de los problemas al abordar procesos educativos en termodinámica es la desconexión de la Física con el contexto. Por lo tanto, proponen relacionar algunos temas de termodinámica con el calentamiento global, debido a que es un tema que se aborda de forma constante en los periódicos por su impacto ambiental y sigue creciendo con el paso del tiempo.

Para finalizar, se retoma el trabajo de Carmona-Mesa et al. (2020), quienes sostienen que el uso del ABP puede vincularse con la enseñanza de la termodinámica en tanto favorece relaciones interdisciplinarias que hacen converger diferentes disciplinas respecto a un mismo problema. En particular, estos autores señalan que enmarcar los procesos educativos en el contexto de una disciplina única tiene como consecuencia que los conceptos de las demás disciplinas involucradas en el problema se asuman de forma superficial. Esta afirmación se evidencia en el estudio que realizan acerca del fenómeno del calentamiento del agua, donde integran las Matemáticas y la Física e identifican que los estudiantes centran su atención principalmente en el desarrollo matemático del problema.

A partir de los tres trabajos presentados previamente, se puede evidenciar al menos cuatro errores conceptuales en termodinámica que los alumnos presentan (Delgado et al., 2002), también se detecta que el análisis del problema del calentamiento global provocado por la contaminación resulta significativo, en tanto es un problema que afecta a la sociedad y se aborda constantemente en medios de comunicación (Barbosa y Castro, 2007). Finalmente, otros autores son enfáticos en los beneficios que trae el ABP para la termodinámica porque provee relaciones interdisciplinarias que permiten que las problemáticas cobren sentido para los estudiantes (Carmona-Mesa et al., 2020).

A manera de conclusión, se resaltan los aportes individuales que puede evocar el ABP como lo son el proceso educativo centrado en el estudiante, las conexiones interdisciplinarias, la vinculación del contexto (Carmona-Mesa, Arias, y Villa-Ochoa, 2019; Meinardi & Sztrajman, 2015) y la experimentación exploratoria de los procesos educativos mediante la delimitación a partir de preguntas (García y Estany, 2010). Del mismo modo, es posible identificar las diferencias cuando el ABP se realiza en el área de Matemáticas y en el área de Física.

En esta línea, se resalta que la realización de una intervención que tenga como núcleo el ABP a través de la exploración exploratoria beneficia el aprendizaje de termodinámica de los estudiantes porque el ABP favorece conexiones interdisciplinarias provenientes del contexto haciendo que el conocimiento adquirido cobre sentido, y la experimentación exploratoria permite reflexionar en torno a los fenómenos estudiados por medio de preguntas no afirmativas. De esta forma, favorece aprendizajes no memorísticos donde el tipo de preguntas formuladas a los estudiantes es el principal punto de encuentro entre las dos estrategias. Es otras palabras, la vinculación del ABP y la experimentación exploratoria permite superar las limitantes que cada una tiene para trascender el aprendizaje memorístico por medio de preguntas que inviten a la indagación en termodinámica.

## MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación se enmarca en un enfoque cualitativo ya que se centra en la observación de los estudiantes con el fin de caracterizar los aprendizajes y toma como punto de partida los hechos empíricos registrados en el contexto que es escenario de investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). De este modo, partir de un enfoque cualitativo permite analizar los aportes de la presente investigación a la Educación en Ciencia.

La metodología corresponde a la sistematización que tiene un enfoque cualitativo, según Mejía (2008). La elección de esta metodología se debe a que permite al investigador (futuro profesor en proceso de práctica) apropiarse de forma profunda y significativa de las prácticas vivenciadas en el contexto escolar (Torres, 2019), para realizar un análisis apoyado en diferentes técnicas usadas para el registro de datos. En este sentido, la sistematización recupera los saberes de la experiencia vivida (Mejía, 2008) y posibilita la interpretación crítica las prácticas educativas (Torres, 2019). En consecuencia, es posible generar conocimiento a partir de la reflexión que surge de la interpretación de la práctica (Mejía, 2008).

Para llevar a cabo esta sistematización, Mejía (2008) propone una caracterización de siete tipos. En particular, la presente investigación retoma la *fotografía de la experiencia* que permite: presentar de forma detallada aspectos de la implementación, el momento en el que se lleva a cabo la práctica educativa, cómo se lleva a cabo, en qué lugar se realiza y la razón por la cual sucede de esa manera. En este sentido, la sistematización reconstruye elementos relevantes de la práctica y, por medio de la reflexión en torno a ésta, ofrece una interpretación crítica que permite compartir con la comunidad académica los aportes de los proyectos en la clase Ciencias a través de la experimentación exploratoria. Así mismo, hace posible identificar los aprendizajes obtenidos por los estudiantes del centro educativo en el que se desarrolla la presente investigación.

### **Técnicas para la recolección de datos**

En párrafos anteriores se enunció que para realizar los análisis de datos es importante emplear algunas técnicas que permitan la reconstrucción de las experiencias vividas en el desarrollo de la intervención en el centro de práctica. En este sentido, se retoma a Mejía (2008) y Hernández, Fernández y Baptista (2014), quienes enuncian que algunas de las herramientas para

el registro de datos y reconstrucción de lo acontecido son las grabaciones de video y el diario de campo (bitácora).

La elección de estas dos herramientas se fundamenta en el hecho de la intervención en el centro educativo se desarrolla en entornos virtuales. En consecuencia, las grabaciones de video se llevan a cabo a través de encuentros sincrónicos por medio de las plataformas Google Meet y Zoom y los diarios de campo son realizados a través de los trabajos escritos que realizan los estudiantes en formato Word.

En cuanto a las grabaciones de video en entornos virtuales, Orellana y Sánchez (2006) enuncian que permiten el estudio de los hechos en tiempo real y el análisis de los mismos tal y como suceden. Respecto al diario de campo, Mejía (2008) afirma que permite al investigador organizar la información registrada y cumplir los objetivos para sistematizar la práctica.

### **Criterios éticos de tratamiento de información**

Respecto al tratamiento de la información se solicitó a los estudiantes diligenciar un conocimiento informado en el cuál ellos y sus padres (en caso de los menores de edad) aceptan su participación en la presente investigación (ver anexo 1). De este modo los estudiantes acceden a que los encuentros sincrónicos sean grabados y almacenados en los servidores de la Universidad de Antioquia; en consecuencia, la información recolectada será confidencial y en caso de requerir su uso para reporte de investigación la identidad de los estudiantes será resguardada haciendo uso de seudónimos o caracterizando su grupo de trabajo por un número.

En cuanto a los registros de video, son usados únicamente con la finalidad de aportar a la presente investigación y en caso de ser requerido presentar una captura de pantalla en donde aparezca información que pudiese permitir la identificación de los estudiantes esta será suprimida o difuminada. Del mismo modo, los estudiantes pueden retirarse en cualquier momento de la investigación y participar o no hacerlo no tendrá repercusiones en su calificación.

### **Análisis de datos y categorías**

En cuanto al análisis de los datos registrados en la presente investigación, se retoma a López-Noguero (2002), quien describe el desarrollo de un *análisis de contenido*. Este autor



enuncia que es una interpretación sistemática y objetiva de un conjunto de datos que se contrastan en función de un interés específico y, en los procesos educación, debe emplearse en episodios puntuales para hacer un análisis a la luz de los datos registrados y de la documentación consultada con respecto a la temática elegida.

En adición, López-Noguero (2002) enuncia que es necesario establecer categorías que permitan al investigador centrar su mirada en asuntos específicos de las experiencia vivida. Por lo tanto, en la presente investigación las categorías se centran en los aprendizajes obtenidos por los estudiantes, a saber: memorístico, abierto, reflexivo o crítico (Tabla 2). Luego de ubicar los registros vinculados a las categorías, se realiza una triangulación entre la transcripción de los registros de video, el diario de campo y los elementos encontrados en la literatura. En el presente documento solo de analizan 3 equipos de los 11 desarrollados en la intervención, por lo tanto, se realiza la triangulación por equipo y luego se contrastan los análisis de forma global.

Tabla 2. *Categorías de análisis de la información. Construcción propia*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
Aprendizaje memorístico	Los estudiantes incorporan información de manera literal a su proceso cognitivo (Mata, 2013).
Aprendizaje abierto	Los estudiantes se apropian de sus procesos educativos mediados por la virtualidad y los orientan de la forma en que lo requieren en el desarrollo del proyecto (Okada, 2007).
Aprendizaje reflexivo	Los estudiantes generan procesos de reflexión respecto a las incidencias climáticas en la contaminación del aire y el estudio de las fuentes de emisión de material contaminante desde una perspectiva Física y, por medio de ellas, construyen y reconstruyen conocimiento (Alsina, 2010).
Aprendizaje crítico	Los estudiantes realizan reflexiones internas sobre termodinámica, en particular, con respecto a los motores y el fenómeno de la inversión térmica (Moreira, 2000). Los estudiantes realizan reflexiones externas que relacionan los motores y el fenómeno de inversión térmica con los elementos del contexto relacionados con la contaminación del aire de la ciudad de Medellín.
Aprendizaje de la termodinámica	Los estudiantes transforman y fortalecen los conceptos previos en termodinámica como la temperatura y las leyes de la termodinámica con el fin de abordar el funcionamiento de los motores y el fenómeno de inversión térmica.

## Implementación

A continuación, se describe la intervención en un centro educativo de carácter estatal ubicado en la ciudad de Medellín que se realiza con un grado 11° que cuenta con 38 estudiantes. En el momento en el que se desarrolla la presente investigación, la ciudad afronta índices de contaminación del aire nocivos para la humanidad, tal y como puede ser corroborado en los periódicos de los meses de febrero y marzo del año 2020. Esta contaminación produce afecciones a la salud, cambios en las dinámicas de movilidad por medio del pico y placa ambiental y afecta directamente los estudiantes y comunidad en general.

En consecuencia, la intervención se enfoca en la contaminación del aire de la ciudad de Medellín y los planteamientos acerca de la implementación del ABP en los procesos educativos. Esta intervención se desarrolla a partir de seis actividades (Tabla 3) que se diseñan en coherencia con los planteamientos de Meinardi & Sztrajman (2015) y se anexa la primera fase planteada por Restrepo (2005). Las actividades se delimitan por preguntas que invitan a los estudiantes a la indagación; además, en la actividad tres se desarrolla de forma explícita una actividad que se focaliza en la experimentación exploratoria.

Tabla 3. *Secuencia de actividades realizadas en el centro educativo. Construcción propia*

<b>Fase del Proyecto</b>	<b>Código</b>	<b>Actividad propuesta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Registro</b>
<b>Introducción a la metodología</b>	A-1	¿Cómo identificar y resolver un problema?	Comprender los pasos necesarios para resolver un problema.	Informe escrito
<b>Planeación</b>	A-2	La calidad del Aire de la ciudad de Medellín	Sensibilizar a los estudiantes sobre el problema de la contaminación de la ciudad de Medellín	Informe escrito
<b>Ejecución</b>	A-3	¿De dónde viene la energía?	Comprender el teorema de conservación de la energía a partir de experimentación por medio de simuladores.	Registro de video
	A-4	¡Hora de comprender mejor nuestro problema!	Indagar acerca de elementos teóricos que permitan resolver el problema	Informe escrito

	A-5	¿Es momento de proponer soluciones!	Proponer posibles soluciones al problema de investigación	Informe escrito
<b>Evaluación</b>	A-6	Hora de presentar nuestro problema	Compartir las indagaciones realizadas con los demás miembros del curso	Registro de video

La primera actividad corresponde a la introducción a la metodología que se realiza a través de la película “El niño que domó el viento”. Se elige esta película porque permite visualizar cómo William resuelve un problema de su contexto (falta de agua para los cultivos), por medio de un análisis del problema y su vinculación con la Física para su respectiva solución. En ese sentido, se plantea a los estudiantes cinco interrogantes (Tabla 4) por medio de los cuales se pretende que las estudiantes realicen una aproximación a los elementos anteriormente enunciados.

Tabla 4. *Interrogantes planteados en la A-1*

Código	Pregunta
P-1-1	¿Qué hace que William considere la existencia de un problema a resolver? ¿Por qué es un problema?
P-1-2	¿Qué necesito William para resolver el problema?
P-1-3	¿Cómo se da cuenta William de que la solución que propone al problema es pertinente?
P-1-4	¿Qué inconvenientes tuvo que superar William para resolver el problema?
P-1-5	Con base en lo anterior, enuncie una serie de pasos que usted seguiría para resolver un problema

La segunda actividad gira en torno a la introducción de la contaminación de Medellín y obedece, grosso modo, a la fase de planeación en donde se delimita el problema de investigación. La aproximación se realiza a través de Bonilla (2020), quien aborda de manera amplia el problema de la contaminación del aire de la ciudad de Medellín y enuncia de manera sucinta las principales causas. De este modo, se esperaba que los estudiantes identificaran de forma explícita el problema y tuvieran un primer acercamiento por medio de la Física. En consecuencia, a los estudiantes se les propone seis preguntas (Tabla 5) que se responden a partir de los planteamientos de Bonilla (2020), aunque podían acudir a otras fuentes de información.

Tabla 5. *Interrogantes planteados en la A-2*

<b>Código</b>	<b>Pregunta</b>
<b>P-2-1</b>	¿La contaminación del aire es un problema para la ciudad de Medellín? ¿Por qué?
<b>P-2-2</b>	¿Qué soluciones pueden ser dadas para mejorar la calidad del aire de la ciudad?
<b>P-2-3</b>	¿Qué necesitas saber para resolver el problema?
<b>P-2-4</b>	¿Qué conceptos físicos ves reflejados en los fenómenos de contaminación?
<b>P-2-5</b>	¿Influyen las condiciones climáticas en la calidad del aire? ¿De qué manera?
<b>P-2-6</b>	¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación en la ciudad? ¿De qué manera son emitidas los materiales contaminantes en las fuentes de contaminación?

La tercera actividad surge como consecuencia de las creencias que presentan los estudiantes acerca de la “creación de la energía” en diferentes grupos de trabajo; los estudiantes enuncian que la energía es creada. En esta línea, la actividad se desarrolla a partir de un simulador de la Universidad de Colorado que permite a los estudiantes explorar procesos térmicos y principalmente el teorema de conservación de la energía. Se plantean cuatro interrogantes (Tabla 6) para dinamizar la discusión.

Tabla 6. *Interrogantes planteados en A-3*

<b>Código</b>	<b>Pregunta</b>
<b>P-3-1</b>	Es habitual que si se realiza un trabajo específico durante un intervalo de tiempo prolongado se empleará una mayor cantidad de energía. Explique mediante la exploración del simulador ¿qué factores intervienen en la cantidad de energía que se requiere para realizar el caso en que la fuente es la niña en la bicicleta?
<b>P-3-2</b>	Se puede observar que la temperatura que marca el termómetro en parte derecha del simulador varía a medida que el agua se calienta, ¿la variación de la temperatura en el agua depende de qué aspectos?
<b>P-3-3</b>	Haciendo uso de un panel solar es posible captar la energía emitida por el sol y transformarla en energía eléctrica y, luego, en energía térmica con el fin de calentar agua como se muestra en la figura. ¿Toda la energía en el sistema es empleada para calentar el agua? ¿por qué?
<b>P-3-4</b>	En la película “El niño que domó el viento” se evidenciaron dos momentos fundamentales en donde William a partir de experimentos logra generar energía. El primero de los experimentos se da cuando él evidencia que al hacer girar el pedal de la bicicleta se enciende una bombilla; el segundo, cuando William realiza la prueba del molino de viento para encender la radio. Explique los dos experimentos anteriores por medio del simulador.

La cuarta actividad gira en torno a un proceso de indagación que es delimitado por algunas preguntas de investigación propuestas por el practicante. Las preguntas se orientan a

abordar el proceso investigativo con dos enfoques: el primero se centra en el estudio de las fuentes de contaminación (P-2-6) y el segundo en la relación entre contaminación del aire y condiciones climáticas (P-2-5); los estudiantes eligen libremente cuál enfoque abordar.

La quinta actividad solicita a los estudiantes que, a partir de lo estudiado, realicen propuestas que permitan plantear soluciones al problema de contaminación en la ciudad de Medellín. La sexta y última actividad solicita compartir con sus compañeras el trabajo realizado. Cada una de las actividades se registra en un informe escrito o en video.

El desarrollo de las actividades se lleva a cabo con una intensidad de dos horas semanales. Además, cada una de las actividades se desarrolla en varias sesiones, dependiendo de su complejidad y el tiempo que deben dedicar los estudiantes al trabajo autónomo. En consecuencia, solo se tiene registro de video de dos de las cinco actividades abordadas.

## **RESULTADOS**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al llevar a cabo el proceso de implementación en el contexto educativo que es escenario de investigación. Participan 35 estudiantes que desarrollan el proyecto de forma individual o máximo en equipos de cinco estudiantes. En la primera actividad se obtuvo un total de 16 registros de diferentes grupos, mientras que en las dos últimas se tuvo un total de 11 registros.

La disminución de número de registros se debe a la unión de equipos de trabajo y, en algunos casos, a la deserción de estudiantes del proyecto. Para la selección de los trabajos que se analizan se toman cuatro consideraciones: que el grupo haya desarrollado la totalidad de las actividades; que se disponga del conocimiento informado que les fue; que sus equipos no hayan presentado variación en cuanto a quiénes lo integran; y que los estudiantes hayan participado de forma activa en los registros de video. Luego de realizar una depuración de los equipos a partir de las cuatro consideraciones, se encuentra que únicamente tres equipos cumplen con los requerimientos y en su totalidad por mujeres. A continuación, los equipos seleccionados son codificados como Equipo Uno (E-1), Equipo Dos (E-2) y Equipo Tres (E-3).

## Equipo 1

El E-1 en la A-1 al abordar la P-1-1 acude a una escena de la película en la cual William (el protagonista) hace girar la rueda de la bicicleta de su maestro y, a través de un dispositivo que esta tiene, enciende un bombillo en la parte frontal de la bicicleta. Al respecto, el E-1 manifiesta “que cada vez que pedaleaba, se transformaba en energía lumínica [se hace referencia a la energía mecánica, es decir energía debido al estado de movimiento del sistema observado]” (A-1). Las estudiantes acuden a esta escena para mostrar cómo William hace sus primeros acercamientos a un proceso experimental de transformación de la energía. En este sentido, las estudiantes describen una escena de la película apoyadas en la ley de la conservación de energía e, incluso, se podría aproximar a la primera ley de la termodinámica pues es una forma más generalizada. En consecuencia, se identifica que las estudiantes tienen conocimientos previos de Física y un acercamiento superficial a la primera ley de la Termodinámica. Por tanto, las estudiantes evidencian conocimientos previos acerca de la primera ley de termodinámica.

Los registros en la A-2 evidencian que el E-1 no realizan un proceso de reflexión acerca de los elementos abordados en el artículo de periódico porque solo enuncia elementos de forma repetitiva respecto al documento. Por ejemplo, las respuestas a las preguntas P-2-4, P-2-5 y P-2-6 presentadas en la Tabla 7 coinciden con el *aprendizaje memorístico*.

Tabla 7. Comparación de la respuesta del E-1 a las preguntas P-2-4, P-2-5 y P-2-6 de la A-2 con lo expuesto por Bonilla (2020)

Pregunta	Bonilla (2020)	E-1
<b>¿Qué conceptos físicos ves reflejados en los fenómenos de contaminación?</b>	La meteorología de dichas ciudades tiende a estar restringida en febrero, marzo, abril, octubre y noviembre. En estos periodos se evidencian las alertas de calidad del aire, dado que los vientos son muy leves y existen fenómenos frecuentes de inversión de la temperatura que atrapan los contaminantes o evitan que se dispersen. En Medellín, por estar localizada en un valle rodeado de montañas, el	En Medellín, por estar localizada en un valle rodeado de montañas, el <b>RELIEVE</b> impide que el viento pueda expulsar los contaminantes. La <b>METEOROLOGÍA</b> de dichas ciudades tiende a estar restringida en febrero, marzo, abril, octubre y noviembre. En estos periodos se evidencian las alertas de calidad del aire, dado que los vientos son muy leves y existen fenómenos frecuentes de

	relieve impide que el viento pueda expulsar los contaminantes.	inversión de la <b>TEMPERATURA</b> que atrapan los contaminantes o evitan que se dispersen.
<b>¿Influyen las condiciones climáticas en la calidad del aire? ¿De qué manera?</b>		Sí, porque el cambio climático tiene consecuencias diferentes y en esta se encuentran los fenómenos meteorológicos que impactan en la presencia de sustancias contaminantes en el aire.
<b>¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación en la ciudad? ¿De qué manera son emitidas los materiales contaminantes en las fuentes de contaminación?</b>	El material particulado fino –denominado PM <sub>2,5</sub> – es un conjunto de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, resultado de la combustión de las empresas y los vehículos, o del polvo transportado por vías no pavimentadas.	Las fuentes móviles e industriales. En la contaminación inciden dos aspectos: emisión de gases contaminantes y condiciones meteorológicas. En la emisión de los gases contaminantes se encuentra el material particulado fino –denominado PM <sub>2,5</sub> – es un conjunto de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, resultado de la combustión de las empresas y los vehículos, o del polvo transportado por vías no pavimentadas.

En la situación presentada en la P-3-3 (Figura 3) se solicita explicar por qué la energía no se crea, a lo cual el E-1 responde “pues yo digo profe que se puede evidenciar en cuanto al sol que da al panel y se ve que se transforma en la eléctrica porque hay un cambio” (A-3). La respuesta de la estudiante retoma el sistema presentado a partir del simulador y concuerda con los conocimientos previos de Física evidenciados en la A-1, en tanto el E-1 retoma nuevamente la ley de conservación de energía para explicar una situación; sin embargo, la diferencia fundamental entre lo ocurrido en las A-1 y A-3 se encuentra en que las estudiantes en la A-1 no tienen en cuenta el tipo de energía producido luego de girar el pedal de la bicicleta, si no que solo enuncian la transformación en energía lumínica. Por este motivo, se informa que el E-1 presenta *aprendizaje de la termodinámica*, ya que logran transformar los conocimientos previos identificados en la A-1 en un análisis más detallado de una nueva situación.

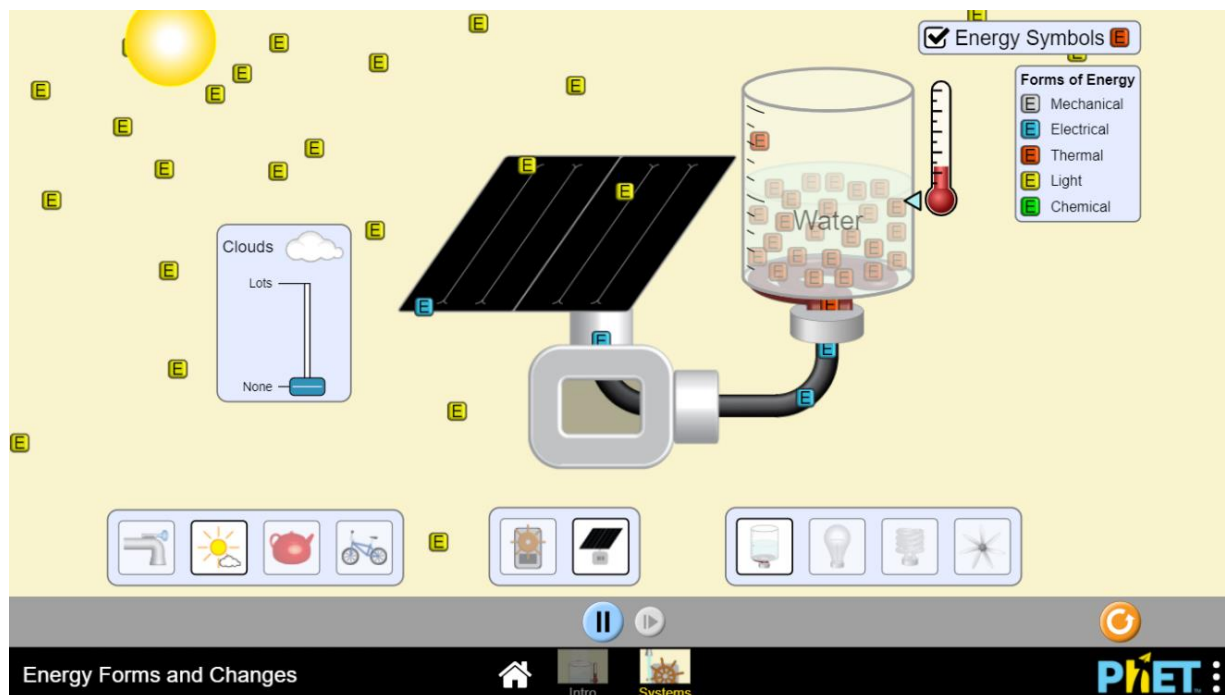


Figura 3. Simulador empleado en la A-3 con las estudiantes.

Disponible en: [https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_en.html)

En la A-4, el E-1 retoma la P-2-6 y se destaca inicialmente que las estudiantes realizan una búsqueda de recursos seleccionados en función de sus necesidades que se desarrolla de forma autónoma. Las fuentes consultadas por las estudiantes son Rojas, Salazar, Montoya, y Moñoz (2019) y Gómez( 2017); la primera, es empleada por las estudiantes para la identificación de las principales fuentes de emisión de material contaminante en la ciudad de Medellín y, la segunda, se usa con el fin de identificar los principales químicos emanados por las fuentes.

En la búsqueda de la información, el E-1 identifica que el tipo de combustible empleado en los motores influye en el nivel de emisión de contaminantes que estos emanan “[...] algunas de las soluciones ante esto que se podrían tener en cuenta podrían ser el mejoramiento de los combustibles, uso de motores menos emisores de contaminación” (A-4). Las estudiantes hacen referencia, en cierto modo, al uso de combustibles fósiles y a la necesidad de emplear energías limpias; además, visualizan una posible solución al problema desde una perspectiva energética ya que las estudiantes enuncian que es necesario:



Educar más a las personas para la eco conducción, la modernización e implementación de instrumentos normativos en materia de movilidad sostenible, tener un orden en todo el territorio, mejorar la calidad ambiental y producir una ciudad más limpia, para mejorar la vida de todas las personas en la ciudad innovadora de Medellín (A-4).

En consecuencia, se informa que en la A-4 las estudiantes presentan parcialmente *aprendizaje abierto*, ya que con el uso de recursos digitales realizan la búsqueda de información que permite adquirir elementos para aproximarse a una respuesta a la pregunta y plantear soluciones a la problemática de la contaminación del aire en la ciudad de Medellín. Además, las estudiantes reflejan *aprendizaje reflexivo* en tanto generan vínculos entre elementos de Física, como son los motores y el problema de la contaminación y, a partir de los aspectos disciplinares enunciados, logran vincular soluciones de carácter social que reflejan *aprendizaje crítico externo*. En este caso, el *aprendizaje crítico interno* no se considera debido a que la aproximación hecha por el E-1 a los aspectos disciplinares es superficial.

En la A-5 se solicita a las estudiantes encontrar posibles soluciones a la problemática de la contaminación del aire en la ciudad de Medellín. En esta actividad se resalta que el E-1 logra identificar de manera explícita la relación existente entre el uso de combustible Diesel y los materiales contaminantes liberados por los motores que funcionan, a partir de una cita textual de un Blog denominado “Escuela de organización industrial” (<https://www.eoi.es/blogs/redinnovacionEOI/2015/10/08/los-motores-diesel-y-la-contaminacion/>).

Además de reconocer la incidencia del motor tipo Diesel en la producción de materiales contaminantes, el E-1 explica el ciclo Diesel a partir de un diagrama PV (presión vs volumen) obtenido de internet (Figura 4) donde muestra los procesos térmicos que se llevan a cabo en dicho ciclo. En este sentido, se evidencia el uso de recursos digitales con el fin de adquirir elementos suficientes para plantear soluciones al problema; esto corresponde a un *aprendizaje abierto*.

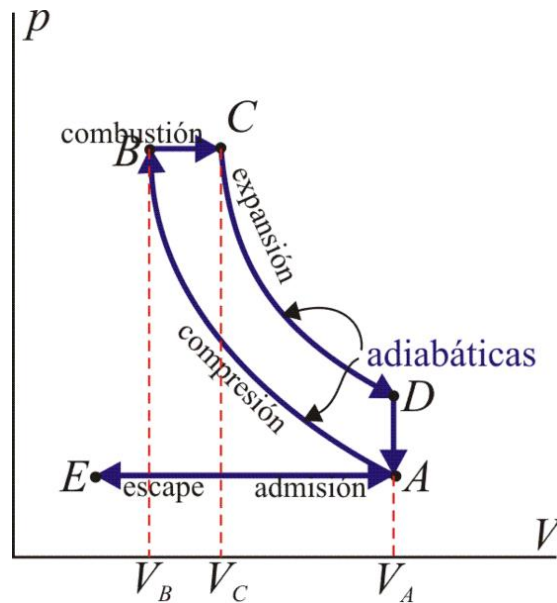


Figura 4. Diagrama PV empleado por las estudiantes para explicar el Ciclo Diesel.

Tomado de: <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Ciclo-diesel.png>

De este modo, por medio del análisis del ciclo Diesel desarrollado en la A-5, equipo empieza a proponer una solución al problema que contempla aspectos comunicativos, pero también acerca del tipo de energía que se debe emplear para disminuir las emisiones de una forma más detallada y apoyada en la termodinámica. Esto evidencia un proceso reflexivo desde un contexto de la Física y una primera relación con la Química que corresponde en primera medida a un *aprendizaje reflexivo*. Además, al discutir aspectos disciplinares, corresponde a un *aprendizaje crítico interno y externo* al tener en cuenta tanto un contexto disciplinar como uno social. Las propuestas realizadas por el E-1 se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. *Propuestas realizadas por el E-1 y análisis de las propuestas*

Propuesta	Análisis
Crear conciencia ambiental para empezar a utilizar un medio de transporte eléctrico, de esta forma disminuyendo la contaminación vehicular.	En esta propuesta es posible identificar nuevamente que las estudiantes hacen una diferenciación entre energías renovables y no renovables vinculándolas de forma directa a la emisión de contaminantes y de esta manera realizar una propuesta de corte social.
Generar una propuesta de un auto que funcione con energía renovable y que además sea favorable y accesible para los estratos medios y bajos. Se	Reconocen un problema centrado en los motores que funcionan a partir del ciclo Diesel y por medio de la comprensión de este argumentan la

sabe que es bastante complejo esto, pero no es imposible porque a medida de que se vayan implementando este tipo de autos, los que tienen motor Diésel empezará a dejarse de usar y los nuevos autos amigables con el medio ambiente (...) con el transcurso del tiempo serán igual de accesibles que los anteriores.	necesidad de buscar alternativas para el funcionamiento de los vehículos.
Utilizar como combustible aceite vegetal (la colza es una opción factible) el cual es viable debido a que cumple con las condiciones térmicas y de viscosidad.	Esta solución en particular es retomada por los estudiantes de una de sus fuentes de consulta, en particular es relevante en tanto no solo enuncian el problema del ciclo Diesel, pues esta solución permite en gran medida reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera en tanto el ciclo es más eficiente.

Finalmente, en cuanto a la A-6, se solicita a las estudiantes preparar una presentación del desarrollo de las cinco actividades anteriores. En particular, se identifica que el E-1 tiene una noción intuitiva de la ecuación de estado ya que enuncian que “a mayor presión y a mayor temperatura” (A-6), lo que está relacionado con la ecuación de estado para gases ideales, en tanto las estudiantes reconocen que existe una relación directamente proporcional entre estas dos cantidades y lo señalan en varias ocasiones durante la presentación. El contexto de la afirmación se da en el estudio del ciclo Diesel, con el cual el E-1 explica por qué es un problema el uso de combustibles fósiles y propone emplear un aceite vegetal para la disminución de los materiales emitidos. Sin embargo, al cuestionar a las estudiantes acerca del porqué del uso de este aceite no dan una respuesta concreta y divagan acerca de lo que han dicho.

A pesar de lo enunciado en el párrafo anterior acerca del aceite vegetal, se considera que este último hecho no corresponde con *aprendizaje memorístico* porque, más allá de no reflexionar acerca de lo estudiado, el problema se encuentra en una falta de contenido de las estudiantes; es decir, en su proceso autónomo no abordan de forma amplia por qué el uso de este tipo de aceites disminuye la emisión de contaminantes. Por lo anterior, a pesar de la falencia, las estudiantes presentan un *aprendizaje abierto* ya que a partir de su indagación en medios virtuales logran identificar elementos conceptuales y estrategias empleadas en otros lugares. Además, proponen otras estrategias enunciadas en las actividades anteriores fundamentadas en su reflexión. En consecuencia, se informa que las estudiantes presentan *aprendizaje reflexivo* y, al vincular el contexto a los conceptos estudiados, evidencian *aprendizaje crítico interno y externo*;

además de haber adquirido nuevos conocimientos vinculados al *aprendizaje de la termodinámica*, como lo es una aproximación a la ecuación de estado y a los procesos térmicos descritos en el diagrama P-V empleado para explicar el ciclo Diesel.

## **Equipo 2**

Para el E-2 en la A-1 es relevante que, en la pregunta P-1-1, las estudiantes centran su atención en los aspectos sociales que el problema implica. Al respecto enuncian que “William como miembro de la comunidad, está involucrado inevitablemente en esta situación, cuyo problema era la sequía para el cultivo de alimento. Y es un problema de alta importancia, pues trae consigo (...) la hambruna y la muerte” (A-1). Si bien el E-2 no vincula aspectos disciplinares, posteriormente en P-1-2, destacan la importancia que tuvo para William la búsqueda de información y, en particular, de elementos de Física: “necesitó educación y documentación; en este caso acerca de la energía eólica y la electricidad” (A-1).

Al respecto, se infiere que las estudiantes enuncian de forma implícita el hecho de que William transforma energía eólica en energía eléctrica, la cual permitía encender una bomba de agua que posibilitaba sustraer este líquido de un pozo para dar solución a la falta de agua para el riego de la plantación. Esta acción informa que las estudiantes presentan conocimientos previos respecto a la conservación de energía que, en una forma generalizada, puede ser contrastado con la primera ley de la termodinámica.

Por otra parte, en la A-2 se tiene que el E-2 amplía la revisión de fuentes de información al acudir a Hayas (1991) con quien intenta dar respuesta a la P-2-4. Al respecto, las estudiantes se fundamentan en lo dicho por Hayas (1991) y Bonilla (2020) con el fin establecer una conexión entre las bajas corrientes de aire en el Valle de Aburrá, la inversión térmica que se presenta de manera constante y la implicación en la calidad del aire en la ciudad. Lo anterior se evidencia al citar un fragmento del autor donde se hace referencia a la incidencia de las corrientes de aire en la difusión de los contaminantes del aire y manifiestan que:

El estudio de las condiciones meteorológicas (la Física de la atmósfera) de un sitio concreto, nos permite conocer la serie de procesos que atraviesan los contaminantes en este medio que es el aire, como lo son el transporte y la dispersión; por ejemplo: los vientos muy leves y los fenómenos frecuentes de inversión de la temperatura, en periodos específicos del año presentes en ciudades como Medellín y Bogotá (A-2).

Del mismo modo y respecto a la P-2-6, el E-2 reconoce que las principales fuentes de contaminación “[...] son las industrias y, sobre todo los vehículos, tanto de carga como de transporte público, pues son las responsables de la mayor cantidad de emisiones de PM<sub>2,5</sub>, en las ciudades”. Por tanto, retoma los argumentos de Bonilla (2020) y evidencia que las estudiantes presentan *aprendizaje reflexivo*, en tanto vinculan elementos de la contaminación del aire en la ciudad de Medellín con elementos de Física que permiten argumentar por qué se presenta este problema en la ciudad.

Además, las estudiantes presentan *aprendizaje crítico externo* porque vinculan elementos disciplinares con el problema contextual estudiado. No se considera que las estudiantes presenten *aprendizaje crítico interno* en tanto no discuten elementos disciplinares de forma explícita y se descarta el *aprendizaje memorístico* pues las estudiantes realizan un proceso de reflexión a luz de las fuentes de información consultadas.

En torno a la A-3 para el caso del E-2 se destacan dos situaciones: la primera gira en torno a la relación existente entre calor y temperatura y, la segunda es acerca de las apreciaciones y dudas que tienen las estudiantes respecto a las preguntas y las situaciones planteadas a partir del simulador. En la primera situación se presenta el siguiente episodio al discutir acerca del cambio de fase del agua y la temperatura que el termómetro mide:

Practicante: ¿Por qué el agua no continúa subiendo su temperatura?  
[...] ¿Qué relación hay entre temperatura y energía térmica [calor]?

E-2: pues, yo no sé si sea lo que estoy pensando, pero creo que llegó hasta un punto porque se igualó a la temperatura del vapor de la tetera o ¿no?

La intervención del practicante gira en torno a la creencia de las concepciones que se tienen acerca de la temperatura y calor, a partir de ello se desata un debate entre diferentes estudiantes acerca de la temática. En particular, el E-2 enuncia que la temperatura deja de aumentar debido a que alcanza un “equilibrio térmico” con la temperatura del vapor que sale de la tetera (Figura 5). Al respecto, se destacan dos elementos: primero, la estudiante se confunde debido a que en la actividad propuesta (Figura 5) se presenta un sistema compuesto por una fuente de calor (cubeta en llamas), una tetera llena de algún líquido, un molino y un recipiente con agua y no logra individualizar los sistemas; segundo, la estudiante no logra identificar que la temperatura medida por el termómetro corresponde a la del agua, no a la del vapor, además asocia el equilibrio térmico

solamente a elementos de temperatura constante sin darse cuenta qué sistema continuaba recibiendo energía. A pesar de ello, cabe resaltar que las estudiantes señalan sutilmente una forma de transferencia de calor y se evidencian de forma explícita ideas previas acerca del equilibrio térmico.

En cuanto a la segunda situación, luego de haber abordado la totalidad de las preguntas planteadas en esta actividad, se solicita a las estudiantes que expongan sus dudas o aportes en torno a las situaciones abordadas por medio del simulador. En ese sentido, manifiestan que “la diferencia de este proceso con el que hizo William es el rendimiento, pues, a mi parecer, porque en este caso el vapor de la tetera está soltando energía térmica y energía mecánica” y posteriormente complementa enunciando que en el caso del viento “creo yo que el viento no libera energía térmica, el viento generaría más energía mecánica que lo que generaría una tetera”

La respuesta de la estudiante evoca una comparación entre el movimiento de las masas de aire (viento) y el montaje propuesto. Al respecto, se pide a las estudiantes suponer que el vapor que sale a presión de la tetera hace las veces del aire en el molino construido por William; de este modo, el E-2 evidencia que a partir del simulador se posibilita comprender con mayor profundidad las situaciones estudiadas, en tanto se visualizan los tipos de energía presentes en un sistema dado. Por ello, a pesar de que el E-2 evidencia algunos errores conceptuales acerca de los tipos de energía presentes en cada sistema, es posible identificar que las estudiantes tienen claro que hay un proceso de transformación de energía. En ese sentido, las estudiantes evidencian una transformación parcial de sus conocimientos en torno a la primera ley de la termodinámica, en tanto contrastan dos situaciones en momentos diferentes del proyecto y logran identificar a mayor profundidad las energías involucradas en proceso de transformación; por tal motivo, es posible informar que las estudiantes presentan *aprendizaje de termodinámica* al ser contrastado con lo abordado en la A-1.

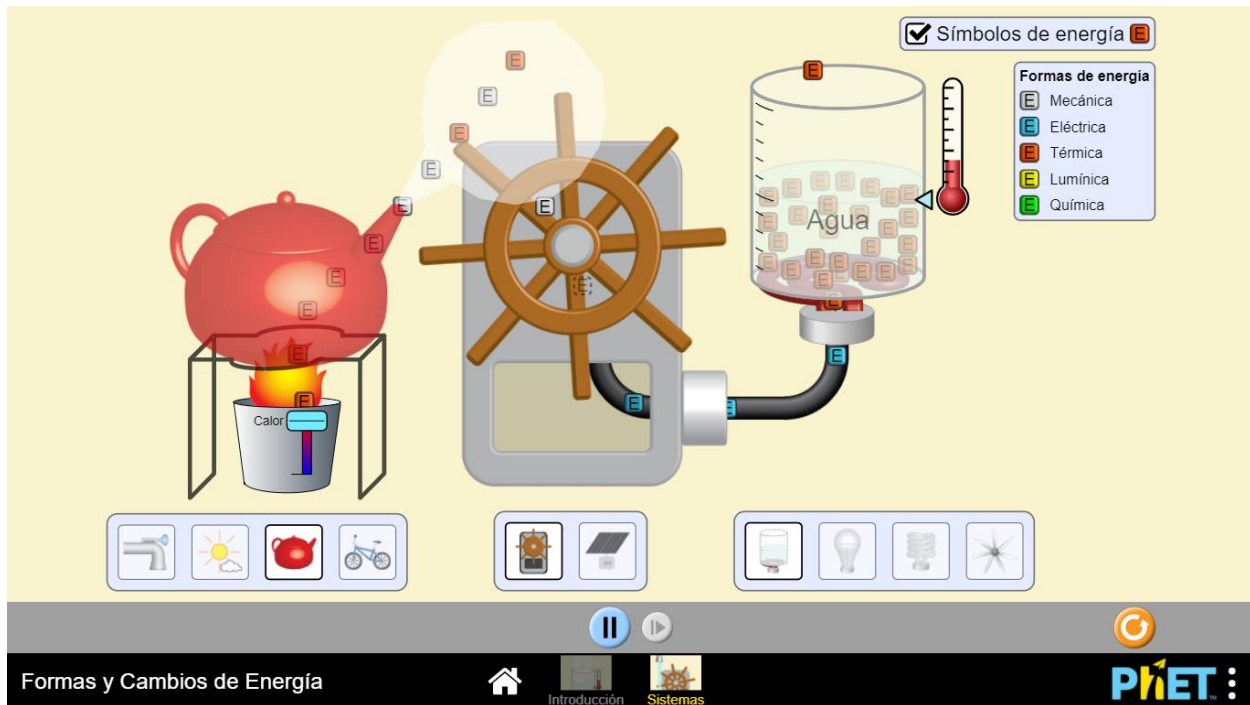


Figura 5. Situación planteada al E-2 en la A-3

En torno a la A-4 las estudiantes seleccionan la P-2-5 y exponen elementos sobre la forma en que varía la temperatura con el cambio de altura. Manifiestan que “las temperaturas de estas [las capas de la atmósfera] cambian de manera vertical y, en la mayoría de los casos, siguen un patrón de descenso de temperatura mientras se asciende por ellas” (Registro escrito, A-4). Además, a partir de la afirmación anterior estipulan que existe una excepción en la que la temperatura del aire no varía de esta manera; a “dichas excepciones del patrón de descenso de la temperatura se les conoce como inversión térmica”. Las estudiantes asocian este fenómeno con la calidad del aire de la ciudad en tanto “impide que los contaminantes emitidos por la actividad humana en esta zona baja puedan dispersarse verticalmente y terminen por concentrarse” (A-4).

El E-2 también relaciona de forma directa la densidad de las capas de aire con el fenómeno de la inversión térmica, en tanto sostiene que “esta diferencia de densidades, producto de la temperatura, hace imposible la mezcla entre las capas y por tanto la dispersión de las partículas” (A-4). Además, se evidencia que las estudiantes identifican la manera en que la inversión térmica se vincula con el problema de la calidad del aire de la ciudad de Medellín. En cuanto a las fuentes de información, toman como referencia a Ballester (2005), Bedoya y

Martínez (2009), Jiménez y Linares (2006), Ortiz (2019) y Sastre, Blanco y Serrano (2020). Las tres primeras son artículos científicos y las dos últimas páginas web.

Por lo anterior, es posible informar a partir de la A-4 que el E-2 evidencia *aprendizaje abierto* porque realiza la búsqueda de la información que requiere para abordar su proceso educativo de forma autónoma, mostrando apropiación y una aproximación a la problemática de la calidad del aire en la ciudad. Además, las estudiantes presentan *aprendizaje reflexivo* al identificar elementos que les permiten realizar una vinculación de los fenómenos físicos, como la inversión térmica con el problema de la contaminación del aire. De igual forma, vinculan elementos de Física con elementos contextuales, lo cual refleja *aprendizaje crítico externo* y discuten aspectos la densidad con el movimiento de las masas de aire descritas en los episodios presentados, lo que evidencia *aprendizaje crítico interno*.

En cuanto a la A-5, el E-2 parte del hecho identificado en la en torno a que, en la inversión térmica, lo que impacta de forma negativa la calidad del aire de la ciudad de Medellín es la acumulación de contaminantes en el aire que deriva de la falta de movimiento de las masas de aire y es consecuencia de la ubicación geográfica de la ciudad (Medellín se ubica en un valle). Al respecto, las estudiantes enuncian que la inversión térmica en las ciudades se produce gracias a lo que en la literatura se nombra como islas de calor; de este modo, las estudiantes retoman a Ruiz (2014), quien enuncia que una manera de disminuir las islas de calor es a partir de la siembra de árboles que permiten disminuir la temperatura del aire por medio del aumento de la humedad.

Tabla 9. *Actividades diseñadas por el E-2 para la ejecución de su propuesta*

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
Conformación de un grupo interdisciplinario	[...] que integre a las entidades de orden municipal, organizaciones ambientales y universidades que dictan cátedra ambiental.
Análisis de los sitios con mayores índices de contaminación	[...] establecer contacto directo con las redes de monitoreo y otras entidades encargadas de la medición de la calidad del aire en el Área Metropolitana y comparar las estadísticas de los últimos años con las actuales teniendo en cuenta el crecimiento urbano, vehicular, entre otros; de esta manera, reconocer los lugares con mayor índice de contaminación del aire y déficit en área arbolada



	para buscar su estabilización a estándares normales.
Estudio de la distribución espacial Urbana	[...] identificar la disponibilidad de los espacios que serán destinados para la vegetación.
Selección de las especies a sembrar	[...] especies vegetales más apropiadas, de rápido crecimiento, fácil mantenimiento y con menos inconvenientes (que no generen grandes cantidades de COV).
Establecimiento de actividades para el desarrollo del proyecto con los protocolos y procesos	[...] proceso de arborización tenga que en cuenta los procesos de crecimiento de los árboles y definir las prioridades (cumplir el déficit de 700.000 árboles mencionados anteriormente para acatar con los estándares mínimos de la OMS), la calidad esperada, protocolos, procesos, planes de acción e indicadores de medición.
Establecimiento de presupuesto y búsqueda de recursos	Se vincula a “las entidades públicas de carácter departamental y municipal”.
Propuesta a la Asamblea departamental y al Consejo municipal sobre la legislación de vehículos	[No se realiza descripción de la actividad]
Campañas de concientización	[No se realiza descripción de la actividad]

En este sentido, las estudiantes proponen un plan estratégico que permita suplir el déficit existente de árboles en Medellín. El plan contiene ocho actividades (Tabla 9) para desarrollar en un periodo estimado de once meses de acuerdo con un cronograma (Figura 6). Por lo anterior, se informa que el E-2 presenta *aprendizaje reflexivo* porque identifica las incidencias climáticas en la calidad del aire de Medellín y construye conocimientos al estudiarlas a partir de conceptos físicos. Además, se evidencia *aprendizaje crítico interno* ya que las estudiantes realizan un proceso de reflexión que permite, a partir de elementos disciplinares, comprender cómo sucede el movimiento de las masas de aire (convección del aire) y lo asocian a la densidad. Del mismo modo, se informa que las estudiantes presentan *aprendizaje crítico externo* debido a que proponen soluciones a un problema de carácter social a través de los elementos teóricos abordados.

ACTIVIDAD	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Conformación del grupo interdisciplinario	X											
Análisis de los sitios con mayores índices de contaminación	X	X	X									
Estudio de la distribución espacial urbana			X	X								
Selección de especies a sembrar	X											
Establecer el cronograma de actividades del desarrollo del proyecto, con los protocolos y procesos		X	X	X	X	X						
Establecer el presupuesto y buscar recursos					X	X	X					
Propuesta a la Asamblea departamental y al consejo municipal sobre la legislación de vehículos					X	X	X	X				
Campañas de concientización								X	X	X	X	

Figura 6. Cronograma presentado por el E-2 para la implementación de su propuesta (Registro escrito).

Finalmente, en torno a la A-6 se resalta que las estudiantes comprenden el fenómeno de la inversión térmica y su incidencia en la calidad del aire de la ciudad de Medellín al manifestar que se asemeja a “una burbuja que nos crea un escudo y no permite que los gases tóxicos que se derivan de los carros, las motos, las fábricas o algún tipo de contaminante se pueda dispersar” (A-6). Al respecto, enuncian que una de las causas es que “las islas de calor están directamente relacionadas con la inversión térmica” y manifiestan que “si se disminuyen las islas de calor se podría disminuir la contaminación” (A-6). De igual manera, amplían aspectos enunciados en la A-5 y respecto a su intervención, el practicante presenta una pregunta a las estudiantes de esta forma:

Practicante: ustedes hablan sobre que plantar árboles favorece la disipación de las partículas contaminantes [...], ¿de qué manera se mueven las masas de aire debido a la plantación de árboles?

E-2: el viento llega a las hojas y ellos a través de las hojas podrían retener las partículas más grandes, sobre todo las partículas que son esto pm particulado [...]

La respuesta del E-2 evidencia que a pesar de que en la A-5 se abordaron elementos suficientes para la explicación del movimiento de las masas de aire, no logran interiorizarlo porque la respuesta no se focaliza en elementos de Física y no es concreta. Sin embargo, es posible destacar que las estudiantes comprenden la relación existente entre la inversión térmica y el problema de la calidad del aire en la ciudad de Medellín. Por tal motivo, se informa que presentan *aprendizaje crítico externo* porque establecen conexiones entre elementos disciplinares y plantean soluciones a un problema de su contexto. Del mismo modo, se evidencia *aprendizaje reflexivo* porque las estudiantes realizan conexiones entre conceptos específicos para comprender y resolver el problema de la contaminación del aire en la ciudad de Medellín.

### **Equipo 3**

En cuanto al E-3 en la A-1, se encuentra que retoma en P-1-2 la búsqueda de información que realiza William en los libros de su escuela y enuncian que “William necesitó conocimiento que adquirió de los libros, especialmente del texto *Cómo usar la energía*” (A-1). Del mismo modo, las estudiantes enuncian en P-1-3 que William realiza un proceso de indagación con elementos de Física y, a partir de la experimentación, pone a prueba los elementos teóricos:

Primero que todo, William identificó el problema. Luego, a través de su creatividad, la que utilizaba en sus invenciones fue desarrollando habilidades e ideas sobre la energía eléctrica, después, con el contenido del libro, se dio cuenta que podía generarla por medio del viento [energía eólica] y con base a su proceso experimental ratificó que era una solución pertinente si se aplicaba a gran escala (A-1).

En consecuencia, se informa que las estudiantes presentan ideas previas en torno a la conservación de la energía, en tanto comprenden que la energía eléctrica empleada por William para encender la bomba de agua proviene del viento. Del mismo modo, las estudiantes resaltan el papel de la experimentación en el proyecto llevado a cabo por William.

En la A-2 se identificó que el E-3 vincula otras lecturas de dos sitios web para comprender con mayor profundidad los planteamientos de Bonilla (2020). El primero se refiere a la contaminación debida al parque automotor

([https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n\\_producida\\_por\\_el\\_tr%C3%A1fico](https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_producida_por_el_tr%C3%A1fico)) y el

segundo a cómo reducir las emisiones de contaminantes de los automóviles

(<https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reducen-las-emisiones-los-coches>). En

torno a lo expuesto por las estudiantes, se resalta lo que enuncian en la P-2-6:

Los gases contaminantes son emitidos en los vehículos por los motores de combustión (ya sean de gasolina, diésel, gas, etanol, etc.). Son pequeñas plantas químicas que transforman la energía de un combustible al arder [energía química] en energía cinética. En pocas palabras, transforman unas sustancias químicas en otras y ese proceso genera movimiento. Para extraer la energía de un determinado combustible, éste ha de quemarse dentro del motor, lo cual genera calor, productos químicos y movimiento. Los motores de combustión interna de los vehículos emiten varios tipos de gases y partículas que contaminan el medio ambiente, los productos que se emiten en mayor cantidad son: óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), compuestos orgánicos volátiles y también macropartículas (A-2).

Al respecto, se informa que las estudiantes presentan *aprendizaje reflexivo* porque vinculan elementos de Física al funcionamiento de los motores con la finalidad de aproximarse a una explicación sobre la contaminación del aire en la ciudad de Medellín. En esa línea, también se informa que las estudiantes presentan *aprendizaje abierto* porque, a través de espacios virtuales, buscaron información de manera autónoma que les permitió comprender el problema y atender a las necesidades de su proceso educativo.

En cuanto a la A-3, se resaltan dos momentos del E-3: en el primero, la actividad se inicia visualizando el simulador y se presenta el siguiente diálogo a la luz de las preguntas que fueron compartidas con las estudiantes:

Practicante: es habitual que si se realiza un trabajo específico durante un intervalo de tiempo prolongado se empleará una mayor cantidad de energía. Explique mediante la exploración del simulador ¿qué factores intervienen en la cantidad de energía que se requiere para realizar [se pretende calentar agua] (Figura 7) el caso en que la fuente es la niña en la bicicleta?

E-3: pues, interviene por ejemplo la alimentación, ella no puede estar todo el tiempo pedaleando si no está bien alimentada porque es lo que le va a suministrar la energía a ella.

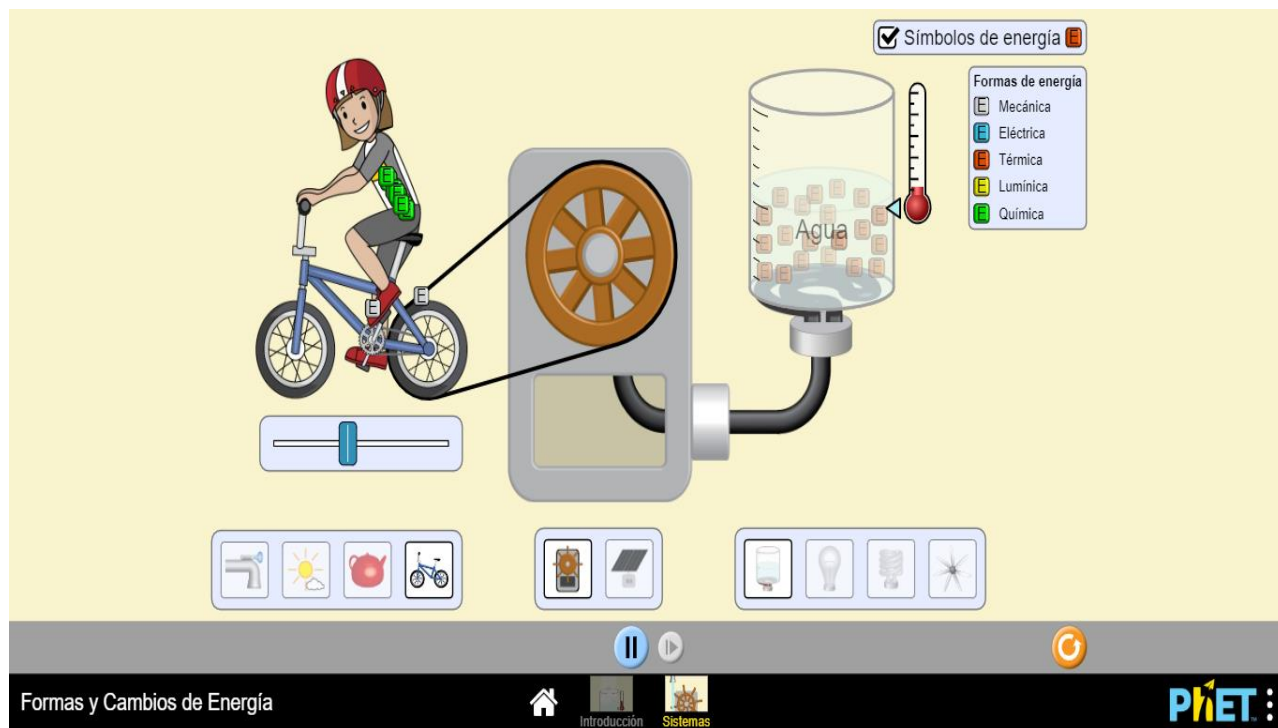


Figura 7. Situación planteada al E-3 en la A-3

Luego, se presenta un segundo momento en el cual las estudiantes discuten acerca de las energías presentes en el sistema y si todas se emplean para calentar el agua. Al respecto, las estudiantes identifican que la rueda de la bicicleta, en determinados momentos, emana fracciones de energía térmica. En referencia a este suceso enuncian:

Practicante: ¿De dónde sale esa energía térmica? ¿Qué pasa?

E-3: la fricción [esta breve intervención del E-3 se da a la luz de una discusión entre integrantes de otros grupos que sostienen que esto sucede porque hay mucha energía cinética].

En torno a los dos momentos anteriores es posible contrastar con la A-1 que las estudiantes tienen ideas previas respecto a la conservación de la energía. En el momento uno, las estudiantes acuden a esta ley con el fin de explicar una situación mediada a través del simulador; en el momento dos, se evidencia que las estudiantes comprenden que no toda la energía puede ser transformada en trabajo, es decir, adquieren un nuevo *aprendizaje de termodinámica* a partir de las situaciones mediadas por el simulador.

Del mismo modo, en la A-4 se identifica que las estudiantes centran su atención en los automóviles que funcionan a base de Diesel porque enuncian que “el dióxido de nitrógeno se forma en la combustión de los motores, siendo los Diesel los que mayor cantidad de NO<sub>2</sub> producen.” (A-4). Del mismo modo, delimitan su problema al focalizar su estudio en la identificación de los automóviles que más contaminan; el E-3 enuncia que el “principal problema no es el acumulamiento de automóviles sino los modelos atrasados de estos, que son los que producen en mayores cantidades gases contaminantes” (A-4).

En cuanto a los elementos disciplinares, las estudiantes se centran en el calor y la temperatura estableciendo una relación directa entre estos. Lo anterior se evidencia cuando declaran que “el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas de efecto invernadero, que es el contaminante que está causando en mayor medida el calentamiento de la Tierra, en sus altas concentraciones puede retener demasiado el calor y subir la temperatura”. En cuanto a las fuentes de información consultadas se destaca que visitan 4 páginas web, un periódico y un documento gubernamental (Tabla 10).

Tabla 10. Fuentes de información consultadas por el E-3 en A4

Fuente	Tipo de fuente
Cardona (2020)	Página web
Daniels et al. (2007)	Documento obtenido de página gubernamental
Ecologistas en Acción (2006)	Página Web
Lopez (2018)	Artículo de periódico
Redacción National Geographic (2010)	Página Web
Widman (2018)	Página Web

En consecuencia, se informa que las estudiantes presentan *aprendizaje abierto* porque, por medio de recursos digitales elegidos de manera autónoma, se apropian de su proceso educativo y adquieren los elementos necesarios para orientarlo de la forma en que su proyecto lo requiere. Del mismo modo, presentan *aprendizaje reflexivo* porque realizan análisis acerca de las fuentes de emisión por medio de la Física y *aprendizaje crítico externo* porque vinculan elementos disciplinares con su contexto.

De forma similar, se identifica que el E-3 aborda de manera explícita el ciclo Diesel en la A-5 como fundamentación de su propuesta. Al respecto, enuncian que “los motores con ciclo

Diesel son los más característicos en la ciudad” (A- 5) y toman en cuenta el análisis de los motores que funcionan a través de este ciclo. En este orden de ideas, las estudiantes sostienen que el ciclo Diesel se caracteriza por cómo ocurre la fase de combustión, en donde “el combustible inyectado al final de la fase de compresión encuentre en el interior del cilindro las condiciones de temperatura y de presión ideales [ecuación de estado para gases ideales] para provocar el autoencendido”.

En esta línea, el E-3 analiza por qué el ciclo Diesel produce altos niveles de contaminación e indaga las posibles maneras para contrarrestarlo. Al respecto, las estudiantes enuncian que uno de los motivos por los cuales el motor Diesel aumenta su índice de contaminación es debido a que:

El óxido de nitrógeno se produce cuando el aire alcanza temperaturas superiores a los 1200 grados [Celsius] (lo ideal con el motor es que no alcance esta temperatura y así evitar emisiones más contaminantes). Dicha temperatura en la cámara de combustión se alcanza y se pasa, cuando se cumple esa condición el 21% del oxígeno que hay en el aire empieza a oxidar al 78% de nitrógeno que hay en él, produciendo óxidos de nitrógeno (A-5).

Para contrarrestar este efecto, las estudiantes enuncian que es posible realizarlo “recirculado en el sistema [las estudiantes enuncian que este proceso consiste en tomar los gases de escape e introducirlos nuevamente al motor], este sistema resulta efectivo cuando se quiere evitar contaminar, pero cuenta como contra con la disminución del rendimiento del motor, por lo que está en las manos de las personas contaminar o no” (A-5). De acuerdo con estos enunciados, se informa que las estudiantes presentan *aprendizaje reflexivo* porque construyen una idea de la ecuación de estado para gases ideales, a través de los procesos de reflexión. Adicionalmente, las estudiantes evidencian *aprendizaje crítico interno* al discutir elementos disciplinares que permiten analizar el ciclo Diesel y *aprendizaje crítico externo* porque, a que a partir de elementos disciplinares como la temperatura y la presión, plantean soluciones a un problema de carácter social.

Finalmente, en la A-6 se identifica que el E-3 enuncia que el estudio del Ciclo Diesel es consecuente con el problema de la contaminación del aire de Medellín en cuanto “[...] hay que ir a la raíz del problema, y la raíz del problema son los motores con ciclo Diesel de carros y motos que es el más usado en Medellín” (A-6). Por lo tanto, las estudiantes enuncian cuatro fases del

ciclo: “la admisión, el pistón baja y entra aire; la compresión, el pistón sube y se inyecta combustible; la fase tres que es la combustión consiste en que cuando ya el pistón está en las condiciones perfectas de temperatura y presión se produce un auto encendido, y luego está la fase cuatro que es la del escape, que es la fase contaminante de nuestros motores, ya que en esta se emite el contaminante más común del ciclo Diesel que es el hollín que está conformado por un montón de óxidos y de hidrocarburos no quemados[...]”

Posteriormente, las estudiantes realizan dos propuestas. La primera se centra en un proceso de reconducción donde se describen principalmente procesos químicos “los gases de escape primero llegan a un catalizador que consiste en dos bloques de cerámica bañados en metales preciosos, en su mayoría platino (...) y, para que funcione, se requiere una temperatura de 750 grados Celsius” (A-6). Al finalizar la descripción de esta propuesta, las estudiantes enuncian que en la etapa final se emplea un filtro que retendrá cerca del 99% de los contaminantes. En torno a la segunda propuesta, el E-3 llama al ámbito industrial pues enuncia que es posible “un termómetro que regule que no se pasen la temperatura de 1200 grados Celsius para que así se evite la contaminación de partículas como el óxido de nitrógeno” (A-6). Posteriormente, el practicante realiza una serie de preguntas a las que las estudiantes responden así:

Practicante: ¿Pueden describir por favor las transformaciones de energía que se presentan en el ciclo Diesel?

E-3: primero tenemos energía química que se da en los gases tóxicos, luego con el movimiento de estas se genera calor y a su vez luego se genera energía cinética. Entonces vemos tres transformaciones de energía química a energía calórica y de energía calórica a energía cinética.

Practicante: cuando hablan de contaminación, hablan de la contaminación como una forma de energía.

E-3: como una consecuencia de la transformación de la energía (...) Como liberación de energía en forma de contaminación.

Practicante: ¿De qué manera el comprender el ciclo Diesel les permitió abordar el problema y proponer una posible solución?

E-3: porque, bueno, entonces comprendíamos que depende también de la temperatura. Entonces a determinada temperatura se empieza a producir otro contaminante, entonces, listo, la principal solución era como la recirculación de gases como, listo, no te me escapes todavía si no que te puedo reutilizar otra vez y luego un filtro. Entonces, entender el ciclo Diesel nos permitía entender a qué temperatura se producen tales contaminantes y



qué puedo hacer yo para que no se expulsen del todo si no que vuelvan. (...) O sea, nos ayudó a entender dónde estaba el problema exactamente para así poderlo abordar de una forma más precisa.

En esta línea, es posible informar que el E-3 presenta *aprendizaje reflexivo* porque, a través del estudio de las fuentes de emisión y la reflexión generada en torno al problema, logra explicar una de las causas y argumentar una propuesta de solución a partir de los conocimientos adquiridos en proceso. Del mismo modo, se informa que las estudiantes presentan *aprendizaje crítico interno* porque discuten elementos disciplinares como el motor que funciona por medio del ciclo Diesel y las transformaciones de energía que se presentan en la ejecución del ciclo. Al contrastar las A-1, A-3 y A-6 se evidencia que las estudiantes fortalecen cada vez más los procesos de reflexión en torno a la primera ley de la termodinámica (ley de conservación) y, por tal motivo, evidencian *aprendizaje de termodinámica*. Además, se identifica *aprendizaje crítico externo* porque las estudiantes vinculan el conocimiento disciplinar con un problema de contaminación del aire en la ciudad de Medellín y proponen soluciones posibles.

## DISCUSIÓN

Este apartado muestra un contraste entre las bases teóricas de la presente investigación y los resultados obtenidos. En primer lugar, se pone en evidencia los aprendizajes en termodinámica de las estudiantes respecto a las creencias que suelen presentar, según Delgado et al. (2002), en torno a la creencia de que los “objetos en contacto por mucho tiempo en el mismo medio ambiente poseen diferentes temperaturas si están hechos de materiales diferentes” (p.587). Se destaca que el E-2 en la A-3 logra identificar que los objetos presentados en el simulador interactúan entre sí y, luego de un tiempo, la tetera y el termómetro llegan a un equilibrio térmico. Si bien se enunció que en los resultados de este hecho a la luz de la situación planteada se evidencia una confusión en el análisis del sistema, es también una fortaleza evidenciar la transferencia de energía sin contacto (transferencia de energía por radiación) entre los cuerpos y no relacionar el material del cual está constituido cada elemento.

Así mismo, al contrastar los resultados obtenidos en torno a la creencia que se tiene acerca de la proporcionalidad entre temperatura y calor (Delgado et al., 2002), se identifica que el E-3 en la A-4 asume que al proporcionar una cantidad de energía térmica a un sistema, este incrementará su temperatura. Lo anterior evidencia que las estudiantes relacionan proporcionalmente la temperatura y el calor.

Del mismo modo, al contrastar lo enunciado por Carmona-Mesa et al. (2020) respecto a las relaciones interdisciplinarias surgidas en el ABP, se identifica que las estudiantes relacionan el proyecto con elementos sociales, físicos y químicos, por medio de los cuales plantean soluciones. Así mismo, se identifica que el papel de la Física fue central y se relacionó de manera complementaria con la Química. Esta relación permitió superar lo reportado por Carmona-Mesa et al. (2020) acerca de la posibilidad de centrar el proceso en una única. Este último hecho se atribuye, en primera instancia, a la delimitación del problema a partir de las preguntas y, en segunda instancia, al enfoque educativo que tiene el grupo estudiado (las estudiantes se especializan en Química en su institución).

De forma adicional, se resalta que las estudiantes presentan diferentes aprendizajes en cada actividad del proyecto (Tabla 11) que corresponden con los planteado por Morales (2018) en cuanto a que el ABP suscita *aprendizaje abierto, reflexivo y crítico* y esto sucede de forma

dinámica; es decir, ocurre de manera diferenciada para cada actividad. De igual forma, los estudiantes establecen una reflexión profunda respecto a aspectos propios de la Física en tanto explican un fenómeno real e involucrado con el contexto a partir de los aprendizajes obtenidos. Lo anterior muestra cómo la vinculación del ABP por medio de la experimentación exploratoria logra romper la limitante que presentaba el ABP en cuanto a las reflexiones disciplinares (Rojas-González y Carmona-Mesa, 2020).

Tabla 11. *Aprendizajes evidenciados por equipo en cada actividad*

<b>Equipo</b>	<b>A-1</b>	<b>A-2</b>	<b>A-3</b>	<b>A-4</b>	<b>A-5</b>	<b>A-6</b>
<b>E-1</b>	Ideas previas	Aprendizaje memorístico	Aprendizaje de termodinámica	Aprendizaje abierto, reflexivo y crítico externo	Aprendizaje reflexivo, crítico interno y crítico externo	Aprendizaje reflexivo, crítico interno, crítico externo y Aprendizaje de termodinámica
<b>E-2</b>	Ideas previas	Aprendizaje reflexivo y crítico externo	Aprendizaje de termodinámica	Aprendizaje abierto, reflexivo, crítico interno y crítico externo.	Aprendizaje reflexivo, crítico interno y crítico externo.	Aprendizaje reflexivo y crítico externo.
<b>E-3</b>	Ideas previas	Aprendizaje abierto y reflexivo	Aprendizaje de termodinámica	Aprendizaje abierto, reflexivo y crítico externo	Aprendizaje reflexivo, crítico interno y crítico externo.	Aprendizaje reflexivo, crítico interno, crítico externo y aprendizaje de termodinámica

La fase tres del proyecto que Meinardi & Sztrajman (2015) nombran como *ejecución* se desarrolla a partir de las A-4 y A5. En la A-4 se pretendía que las estudiantes realizarán indagaciones en diferentes sitios web y efectuaran una aproximación a elementos disciplinares que les permitieran comprender el problema de manera autónoma. Se identifica que el tipo de fuentes consultadas varía en cada equipo. Por ejemplo, el E-1 acude a un artículo y una revista electrónica; el E-2 acude a dos revistas, un artículo y dos sitios web; y el E-3 acude a cuatro sitios web, un artículo de periódico y un documento gubernamental. En coherencia con lo anterior, se identifica que los tres grupos presentan *aprendizaje abierto, reflexivo y crítico*

*externo*; en el caso del E-3 se presenta también *aprendizaje crítico interno*. En cuanto a la A-5, se encuentra que todos los equipos evidencian *aprendizaje reflexivo* y *aprendizaje crítico interno* y *externo*.

De lo expuesto en la fase tres del proyecto se resalta que el E-2 evidenció *aprendizaje crítico interno* en la A-4. Este suceso se asocia al hecho de que este equipo acude a fuentes de información con una mayor confiabilidad en el ámbito académico, lo que posiblemente le permitió asociar de manera explícita, por medio de su lectura y reflexión, elementos físicos y contrastarlos; esto coincide con la autonomía enunciada en el marco teórico respecto al *aprendizaje abierto* (Okada, 2007). Sin embargo, cabe destacar que, a pesar de que el E-1 y el E-3 no se centraron en aspectos físicos, logran hacerlo en la A-5 a través de la búsqueda en nuevas fuentes de información.

## CONCLUSIONES

Respecto al primer objetivo específico el presente estudio permite concluir que el principal punto de encuentro en la articulación del ABP y la experimentación exploratoria corresponde al tipo de preguntas realizadas en la fase dos del proyecto, las cuales posibilitaron un acercamiento a elementos disciplinares; además de fortalecer o transformar conceptos previos en termodinámica y trascender *el aprendizaje memorístico* de las estudiantes. Así mismo, respecto al segundo objetivo específico se puede concluir que a partir de la propuesta de intervención se lograron caracterizar tres tipos de aprendizajes: *abiertos, reflexivos y críticos*, se resalta que el *aprendizaje memorístico* solo se presenta en las primeras fase del proceso; además, los aprendizajes evidenciados en las estudiantes son dinámicos, es decir, el tipo de aprendizaje registrado varía entre cada actividad.

Respecto al objetivo general, se concluye que además de trascender el *aprendizaje memorístico* a partir de la conexión con el contexto (ABP) y la reflexión disciplinar (experimentación exploratoria) se generaron nuevos aprendizajes de termodinámica en los estudiantes, que no fueron abordados de manera directa en las primeras etapas y se fueron alcanzando en el desarrollo del proyecto; además, se superaron algunas de las creencias de la termodinámica que habitualmente se registran en la literatura como sesgos ocasionados por los conocimientos previos. Adicionalmente, se vincularon disciplinas como la Química a partir del proceso autónomo desarrollado por las estudiantes. Un desafío para futuras investigaciones se centra ampliar la presente propuesta de intervención a otros contextos y con otros conceptos disciplinares, lo cual permitirá identificar otros potenciales y aspectos susceptibles de mejorar para una visión más general de la construcción teórica generada en esta investigación.

Por último, es importante informar algunas limitaciones del estudio. La primera corresponde a que los aprendizajes caracterizados se analizan de manera grupal y no por cada estudiante, esto debido a las condiciones particulares en las cuales es llevada a cabo la investigación; lo anterior, no permite informar la caracterización de los aprendizajes individuales que permitiría analizar de manera más detallada el alcance de la presente propuesta. En segundo lugar, es relevante que se amplíe en futuras investigaciones acerca de los aportes teóricos y prácticos de esta investigación, de tal forma que se logren identificar con mayor claridad los posibles desafíos de la propuesta en diferentes contextos y realidades situadas.

## REFERENCIAS

- Alsina, À. (2010). El aprendizaje reflexivo en la formación inicial del profesorado: un modelo para aprender a enseñar matemáticas. *Educación MatEMática*, 22(1), 149–166.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159–175. Retrieved from [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272005000200005](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005)
- Barbosa, L. G. D., & Castro, R. S. de. (2007). O ensino de conceitos de termodinâmica a partir do tema aquecimento global. *VI Encontro Nacional de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 1–11. Retrieved from <http://www.cecimig.fae.ufmg.br/wp-content/uploads/2007/10/monografia-luis-gustavo.pdf>
- Bedoya, J., & Martínez, E. (2009). Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia-Colombia. *DYNA*, 76(158), 7–15.
- Bonilla, J. (2020, January 1). Bogotá y Medellín: las tareas pendientes en la calidad del aire. *El Tiempo*. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/bogota/bogota-y-medellin-tareas-pendientes-en-la-calidad-del-aire-448230>
- Cardona, A. (2020). Cuáles son los agentes contaminantes del aire. Retrieved from <https://www.ecologiaverde.com/cuales-son-los-agentes-contaminantes-del-aire-1698.html>
- Carmona-Mesa, J. A., Arias-Suárez, J., & Villa-Ochoa, J. A. (2019). Formación inicial de profesores basados en proyectos para el diseño de lecciones STEAM. En E. Serna (Ed.), *Revolución en la Formación y la Capacitación para el Siglo XXI* (2a ed.) (Vol. I) (pp. 483–492). Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. doi: 10.5281/zenodo.4266566
- Carmona-Mesa, J. A., Cardona, M. E., & Castrillón-Yepes, A. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque en educación STEM. *Uni-pluriversidad*, 20(1), e2020101. doi: 10.17533/udea.unipluri.20.1.02
- Carrascosa, J., & Domínguez, C. (2017). Problemas que dificultan una mejor utilización de la

- Didáctica de las Ciencias en la formación del profesorado y en la enseñanza secundaria. *Revista Científica*, 3(30), 167. doi: 10.14483/23448350.12289
- Cristancho, D. M., & Cristancho, L. Y. (2018). Aprendizaje basado en problemas en matemáticas: el concepto de fracción. *Educación y Ciencia*, (21), 45–48.
- Daniels, F., Martínez, L., Quinchia, R., Morales, O., Romero, A., Marín, A., & Arbeláez, M. (2007). Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población Medellín y su área metropolitana, 1–262. doi: 10.1109/ICIEA.2018.8397845
- Daros, W. R. (1992). *Teoría del aprendizaje reflexivo* (1st ed.).
- Delgado, T., Flores, S., & Trejo, L. M. (2002). Calor latente. propuesta de enseñanza del concepto. In *Memorias XVII Congreso Nacional de Termodinámica* (pp. 586–592). Mexico DF.
- Ecologistas en Acción, A. (2006). Causas de la contaminación del aire. Retrieved from <https://www.ecologistasenaccion.org/5681/causas-de-la-contaminacion-del-aire/>
- Fernández, M. (2008). Ciencias para el mundo contemporáneo. algunas reflexiones didácticas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 5(2), 185–199.
- Ferreiros, J., & Ordoñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Revista Hispanica de Filosofía*, 34(102), 47–86.
- García, E., & Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosóficas*, (31), 7–24. doi: <https://doi.org/10.25100/pfilosofica.v0i31.3424>
- Gómez, C. A. (2017). Contaminación del aire en medellín por pm10 y pm2.5 y sus efectos en la salud. Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17019>
- Hacking, I. (1996). *Representar e Intervenir* (1st ed.). Paidós.
- Hayas, A. (1991). Meteorología y contaminación atmosférica. Peculiaridades de la zona urbana de Jaén. *Boletín Del Instituto de Estudios Giennenses*, 143, 191–200. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1202715.pdf>
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación de la investigación* (6th ed.). Mexico DF.

- Hodson, D. (1985). *Philosophy of science, science and science education. Studies in Science Education* (Vol. 12). doi: 10.1080/03057268508559922
- Jiménez, J. D., & Linares, C. (2006). Influencia de los factores meteorológicos y geográficos en la difusión y transportes de sustancias contaminantes. *Revista de Salud Ambiental*, 6(1–2), 20–24.
- Klein, J., T. (2010). *A taxonomy of interdisciplinarity*.
- López-Noguero, F. (2002). El Análisis de contenido como método de investigación. *XXI. Revista de Educación*, 4(4), 167–179.
- Lopez, N. (2018, September 24). Vehículos viejos contaminan el aire hasta 40 veces más. *El Tiempo*. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/vehiculos-viejos-contaminan-el-aire-hasta-40-veces-mas-272342>
- Mata, L. (2013). Reflexiones sobre las teorías de aprendizaje. *REDHECS: Revista Electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*, 14, 6–15.
- Meinardi, E., & Sztrajman, J. (2015). De la pedagogía por proyectos a la estrategia de proyectos: continuidad y cambio. In G. A. Gomez & M. Quintanilla (Eds.), *La enseñanza de las ciencias basada en proyectos, qué es un proyecto y cómo trabajarlo en el aula* (pp. 13–32). Editorial Bellaterra Ltda.
- Mejía, M. (2008). La sistematización como proceso investigativo O la búsqueda de la episteme de las prácticas. *Revista Internacional Magisterio*, 33, 1–17. Retrieved from [http://www.cepalforja.org/sistem/sistem\\_old/sistematizacion\\_como\\_proceso\\_investigativo.pdf](http://www.cepalforja.org/sistem/sistem_old/sistematizacion_como_proceso_investigativo.pdf)
- MEN. (2006). *Estándares Básicos de Competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas*. (M. de E. N. De, Ed.), *Revolución educativa*. Retrieved from [http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-116042\\_archivo\\_pdf.pdf](http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf.pdf)
- Morales Bueno, P. (2018). Aprendizaje basado en problemas (ABP) y habilidades de pensamiento crítico ¿una relación vinculante? *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, 21(2), 91. doi: 10.6018/reifop.21.2.323371



- Moreira, M. A. (2000). Teoria da Aprendizagem Significativa (pp. 47–65).
- Moreira, M. A. (2017). Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista Do Professor de Física*, 1(1), 1–13. doi: 10.26512/rpf.v1i1.7074
- Okada, A. (2007). Novos paradigmas na educação online com a aprendizagem aberta. In *5th International Conference in Information and Communication Technologies in Education, Challenges 2007* (pp. 1–11). Retrieved from <http://oro.open.ac.uk/28633/>
- Orellana, D., & Sánchez, M. (2006). Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa. *Revista de Investigación Educativa, RIE*, 24(1), 205–222.
- Ortiz, R. (2019). ¿La lluvia de verdad limpia el aire? La ciencia tiene mucho que decir sobre esto. Retrieved from <https://www.vix.com/es/ciencia/216661/la-lluvia-de-verdad-limpia-el-aire-la-ciencia-tiene-mucho-que-decir-sobre-esto>
- Paredes, H. D. H., Gutiérrez, E. A. M., López, J., & Giraldo, L. E. P. (2015). Aprendizaje basado en problemas como potencializador del pensamiento matemático. *Plumilla Educativa*, 15(1), 299–312.
- Pecore, J. L. (2015). From Kilpatrick ' s project method to project-based learning. In *International handbook of progressive education* (pp. 155–171). Peter lang.
- Redacción National Geographic. (2010). La contaminación del aire. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-del-aire>
- Restrepo, B. de la S. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza universitaria. *Educación y Educadores*, 8, 9–20.
- Rojas-González, D., & Carmona-Mesa, J. A. (2020). Proyectos en la clase Ciencias a través de la experimentación exploratoria : Una propuesta para trascender el aprendizaje memorístico.
- Rojas, D., Salazar, J., Montoya, D., & Moñoz, E. (2019). Problemática de la contaminación del aire en Colombia. *Revista Ambiental Éolo*, 18(1). Retrieved from <http://revistaeolo.fconvida.org/index.php/eolo/article/view/12>
- Romero, A., & Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico*.

*Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos.* Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

- Ruiz, F. (2007). Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 3(2), 41–60. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/1341/134112600004.pdf>
- Sanmarti Puig, N., & Márquez Bargalló, C. (2017a). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 3. doi: 10.17979/arec.2017.1.1.2020
- Sanmarti Puig, N., & Márquez Bargalló, C. (2017b). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 3. doi: 10.17979/arec.2017.1.1.2020
- Sastre, M., Blanco, J., & Serrano, E. (2020). Contaminación Atmosférica - Inversión térmica.
- Torres, A. (2019). *Sistematización de prácticas y experiencias educativas.* (A. Ghiso, Ed.) (1st ed.). Medellín, Colombia.
- Widman, R. (2018). ¿Por qué contamina más un auto antiguo que uno moderno? Retrieved from <https://es.quora.com/Por-qué-contamina-más-un-auto-antiguo-que-uno-moderno>

## ANEXOS

### Anexo 1: Conocimiento informado

#### **Consentimiento informado Participación en el proyecto de investigación “el Aprendizaje Basado en Proyectos y la experimentación exploratoria como Apuesta Educativa para la enseñanza de la termodinámica”**

La Universidad de Antioquia y la Secretaria de Educación de Medellín han celebrado un convenio que permite el desarrollo de Prácticas Pedagógicas de la Facultad de Educación en el Centro Educativo. En el marco de este convenio, se adelanta una investigación en la Licenciatura en Matemáticas y Física que busca analizar los aportes del aprendizaje basado en proyectos y la actividad experimental exploratoria en la enseñanza de la termodinámica. Para el desarrollo de esta, se invita a las estudiantes del grado 11 para que participen a través de las interacciones que se dan entre estudiantes, profesores y conocimiento disciplinar. En ese sentido, los datos que serán importante para el análisis en la investigación son:

- Vídeos que registran en algunas de las sesiones virtuales de clase importantes para la investigación.
- Diálogos, documentos y demás recursos que se utilicen en clase y sean producidos por los participantes.
- Fotografías.

Por lo anterior, les solicitamos su colaboración y respaldo autorizando el registro de esta investigación a través de los medios anteriormente mencionados, con el fin de que posteriormente sea analizada en función de los objetivos del proyecto. Sobre la participación en el proyecto informamos que:

1. La participación en el proyecto es voluntaria.
2. Los estudiantes se pueden retirar de la investigación en cualquier momento sin que eso represente un perjuicio para ellos.
3. La participación en la investigación no tendrá efectos sobre la calificación (notas) de los desempeños de los estudiantes.

4. Los estudiantes no tendrán incentivos económicos por su participación en el proyecto.
5. Toda la información obtenida será archivada en papel y medio electrónico. El archivo se guardará en la Universidad de Antioquia bajo la responsabilidad del equipo de trabajo.
6. La información recolectada solo se utilizará para fines académicos. En caso de requerir usar alguna imagen o transcripción para algún informe de investigación se hará guardando la identidad de los participantes.

Agradecemos su aporte a la comunidad científica y educativa del país, con certeza permitirán ampliar los desarrollos y comprensiones que se tienen sobre los ambientes que propician un aprendizaje de la física a través del aprendizaje basado en proyectos y la experimentación exploratoria.

Manifiesto que no he recibido presiones verbales, escritas y/o mímicas para participar en el estudio; que dicha decisión la tomé en pleno uso de mis facultades mentales, sin encontrarme bajo efectos de medicamentos, drogas o bebidas alcohólicas, consciente y libremente.

He leído y escuchado satisfactoriamente las explicaciones sobre la participación en esta investigación. Así mismo, se me brindó copia del consentimiento informado y he tenido la oportunidad de hacer preguntas a las cuales se me han respondido satisfactoriamente, por lo que estoy de acuerdo en participar en ella y autorizo el uso de la información obtenida para los propósitos planteados en el apartado introductorio del presente consentimiento.

Duván Andrey Rojas González

Practicante

Correo: [duvan.rojas@udea.edu.co](mailto:duvan.rojas@udea.edu.co)

Facultad de Educación – Universidad de Antioquia

Jaime Andrés Carmona Mesa

Asesor

Facultad de Educación – Universidad de Antioquia