



Reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación: una posible vía para generar procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo de una institución educativa pública en el municipio de Envigado

Juan Pablo Acevedo Quevedo

Maribel Hoyos Valencia

Juan Camilo Echavarría Villa

Trabajo de grado presentado para optar al título de Licenciado en Matemáticas y Física

Asesora

Yaneth Liliana Giraldo Suárez, Magíster en Educación en Ciencias Naturales

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación, Departamento de Ciencias y Artes

Licenciatura en Matemáticas y Física

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita

(Acevedo Quevedo et al., 2023)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Acevedo Quevedo, J.P, Hoyos Valencia, M. y Echavarría Villa, J. C. (2023). *Reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación: una posible vía para generar procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo de una institución educativa pública en el municipio de Envigado* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE).

Línea de investigación: Relaciones entre la historia, la filosofía y la epistemología de las ciencias con la enseñanza de las ciencias.

Coordinadora de prácticas de la Facultad de Educación: Élide Amparo Giraldo Gil.



Centro de documentación Educación

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Wilson Bolívar Buriticá

Jefe departamento: Cártul Vargas Torres

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Al padre de Maribel, León Faber Hoyos Vergara (1960 - 2023) porque desde el infinito nos envió fuerzas para culminar este complejo proceso.

Agradecimientos

Juan: A Dios por rescatarme de la oscuridad. A mi familia, en especial a mi madre Amanda Quevedo y a mi sobrina Celeste Echavarría, porque con su amor me ayudaron a levantar y volver a creer en el sentido de mi existencia. A la Institución Educativa Comercial de Envigado y a los estudiantes del Semillero de Física por darnos la oportunidad de llevar a cabo nuestras prácticas profesionales. A la profesora Yaneth Giraldo, quien en calidad de asesora nos ayudó a superar todas las dificultades que surgieron en este complejo proceso. Al maestro Yirsén Aguilar, quien, en calidad de cooperador, maestro de vida y amigo me ayudó a superar mis inseguridades respecto a las capacidades que tengo para ejercer la profesión docente. A la profesora Olga Rodríguez, por iniciarme en este camino de reflexionar sobre la enseñanza de la física. Al maestro Ángel Romero, por sus valiosos aportes para comprender las perspectivas de Descartes, Newton y Euler sobre el fenómeno de la gravitación. A mis amigos Yineth, Cristian y Santiago, por siempre estar ahí para escucharme. A mis compañeros Maribel y Camilo, por como dice Kraken: *tomar el escudo y la espada para vencer o morir*. Por último, y no menos importante, al niño que un abuso le redujo su autoestima a las cenizas, pero que, aun así, poco a poco, se está convirtiendo en adulto, convencido de que, como dijo su buen amigo Fernando González: *la vida moral consiste en odiar al que fuimos y amar al que seremos*.

Maribel: Agradezco a Dios por darme la energía para continuar este trabajo en cada momento de fragilidad, a mis padres Gladys y León, por enseñarme y fijar dentro de mí la luz del conocimiento como base para la vida. A mi hija Julieta, por ser el motor y razón de ser para no abandonar y ser experimento pedagógico y didáctico en casa. A mi esposo Adrián, por ser el pilar del carácter necesario para levantarme en los momentos de flaqueza y acompañar en cada mañana como una luz. Agradezco a la Institución Educativa Comercial de Envigado por abrirnos las puertas y brindar el espacio académico para realizar este trabajo. A los estudiantes del Semillero de Física que con su voz y disposición permitieron que cada línea tuviera sentido. A la profesora Yaneth por su apoyo, enseñanza y calma para orientar desde el conocimiento de vida y academia. A la profesora Olga por haber sido mi maestra, mostrarme y permitirme conocer esta línea, acompañándome y siendo luz en difíciles momentos personales y familiares. A mis compañeros Juan Pablo y Camilo, porque en el desarrollo de este trabajo con la enfermedad de mi padre estuvieron para apoyarme y nunca permitirme abandonar este sueño que me llevará a ser maestra. Principalmente, agradezco a Juan, por leerme siempre y ser la luz que con su conocimiento posibilita que cada letra y cada frase dentro de este trabajo lograra un sentido.

Camilo: Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han influenciado y contribuido a la construcción de este sujeto. En primer lugar, agradecer a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para completar este proceso. A mi familia, por su amor inquebrantable, apoyo emocional y sacrificios han sido la base de mi éxito, cada uno de ustedes ha sido un pilar fundamental en mi vida, este logro es tanto suyo como mío. A la universidad de Antioquia que ha sido mi segunda casa durante estos años, quién me ha brindado la oportunidad de crecer y aprender y me ha permitido conocer personas maravillosas y vivir experiencias únicas. A mis amigos, quienes me han enseñado lo transformador que puede llegar a ser la educación, sus conversaciones inspiradoras, su apoyo constante y su amistad han sido motor en mi búsqueda del conocimiento y crecimiento personal. A mis compañeros Maribel y Juan, les agradezco por su dedicación y esfuerzo en este proyecto, estoy agradecido de trabajar junto a individuos tan comprometidos y talentosos. Y por último y no menos importante a Juan por su liderazgo ejemplar, por estar siempre presente para brindar orientación, inspiración y motivación, se ha vuelto un ejemplo a seguir para mi tanto como persona como profesional.

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Planteamiento del Problema	15
Justificación	20
Antecedentes	22
Enseñanza de la gravitación	22
Conclusión del análisis de los antecedentes	28
Objetivos	29
Objetivo general	29
Objetivos específicos	29
Marco Teórico	30
Naturaleza de la Ciencia	30
Concepción de Ciencia y del Trabajo Científico	32
La Práctica Científica desde una perspectiva Sociocultural	39
El perspectivismo como característica inherente a la construcción del conocimiento científico	40
El trabajo científico como una actividad humana	43
Experimentación Cualitativa Exploratoria	45
La experimentación cualitativa exploratoria como un medio para construir y defender explicaciones científicas	48
La validación colectiva de las explicaciones científicas como una estrategia para desarrollar la flexibilidad de pensamiento	51
Contribuciones de los Análisis Histórico-Críticos para la Enseñanza de la Física	54

Análisis Histórico-Crítico sobre las perspectivas de René Descartes, Isaac Newton y Leonhard Euler respecto a la Naturaleza del Fenómeno de la Gravitación.....	55
El fenómeno de la gravitación desde los planteamientos de René Descartes.....	56
El fenómeno de la gravitación desde los planteamientos de Sir Issac Newton	61
El fenómeno de la gravitación desde los planteamientos de Leonhard Euler.....	69
Encuentros y desencuentros: Newton vs Descartes y Euler sobre el fenómeno de la gravitación.....	74
Diseño Metodológico de la Investigación.....	76
Enfoque y Método.....	76
Contexto de la Investigación.....	77
Criterios de selección de los participantes.....	78
Compromiso ético de la investigación.....	79
Estrategias para el Registro de la Información.....	83
Sobre la Propuesta Didáctica.....	84
Consideraciones teóricas de la propuesta didáctica.....	84
Viajando por el curioso mundo de la gravitación	88
Plan de Análisis.....	95
Hallazgos y Análisis.....	102
La Práctica Científica desde una Perspectiva Sociocultural	102
El perspectivismo como característica inherente a la construcción de conocimiento sobre el fenómeno de la gravitación.....	102
El trabajo científico como una actividad humana.....	116
Experimentación Cualitativa Exploratoria	132
Construcción y defensa de explicaciones científicas.....	132
Validación de explicaciones y flexibilidad de pensamiento	154
Implicaciones Didácticas y Consideraciones Finales.....	166

Reflexiones sobre la Implementación de la Propuesta Didáctica	166
Conclusiones Derivadas de la Investigación	169
Reflexiones como Maestros de Matemáticas y Física	171
Juan Pablo Acevedo Quevedo	171
Maribel Hoyos Valencia	173
Juan Camilo Echavarría Villa	173
Recomendaciones y Perspectivas de Trabajo.....	174
Referencias	175
Anexos.....	183
Anexo A. Cartilla Didáctica sobre el Fenómeno de la Gravitación Construida para la IECE .	183
Anexo B. Acta de Consentimiento Informado	185
Anexo C. Certificado de la Participación en el Onceavo Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía.....	186
Anexo D. Certificado de participación en el noveno Seminario Internacional de Educación en Ciencias Naturales (SIENCINA)	187
Anexo E. Ejemplo de Unidad de Análisis de la subcategoría Construcción y defensa de explicaciones científicas.....	188
Anexo E. Registro Fotográfico.....	194

Lista de tablas

Tabla 1 Habilidades o estándares de pensamiento crítico relacionados con la flexibilidad de pensamiento.....	53
Tabla 2 Entrevista semiestructurada y su relación con las categorías de investigación.....	94
Tabla 3 Convenciones para las transcripciones de las discusiones de los estudiantes en las sesiones del semillero de física	96
Tabla 4 Red de categorías, subcategorías e indicios de investigación	97
Tabla 5 Relación entre las categorías y las subcategorías de investigación con las unidades de análisis.....	99
Tabla 6 Relación entre los indicios de la subcategoría 1, sesiones y grupos donde se evidenciaron	115
Tabla 7 Relación entre los indicios de la subcategoría 2 con las sesiones, grupos y estudiantes donde se evidenciaron	132
Tabla 8 Relación entre los indicios de la subcategoría 3, sesiones y grupos donde se evidenciaron	153
Tabla 9 Relación entre los indicios de la subcategoría 4, sesiones y grupos donde se evidenciaron	165

Lista de figuras

Figura 1 Esquema derivado del problema de investigación.....	19
Figura 2 Clasificación de las explicaciones científicas o los enunciados construidos por los científicos en su trabajo de laboratorio	50
Figura 3 Protocolo ético de investigación	80
Figura 4 Mesa de diálogo para la construcción de acuerdos de la sesión 6 del semillero de física	86
Figura 5 Ejemplo de actividad de apertura	89
Figura 6 Ejemplo de actividad de desarrollo.....	90
Figura 7 Ejemplo de actividad de cierre	90
Figura 8 Triangulación entre subcategorías e instrumentos para la recolección de información	101
Figura 9 Respuestas del G1 sobre algunos de los cuestionamientos planteados en la actividad de apertura de la S4.....	104
Figura 10 Respuestas del G2 sobre algunos de los cuestionamientos planteados en la actividad de apertura de la S4.....	105
Figura 11 Carta a las princesas del G1 en la S4.....	108
Figura 12 Respuesta del G1 después de la lectura respecto a sus posturas sobre el origen de la gravedad	109
Figura 13 Carta a las princesas del G2 en la S4.....	112
Figura 14 Reflexión final del G1 sobre las actividades realizadas en la S4	113
Figura 15 Reflexión final del G2 sobre las actividades realizadas en la S4	114
Figura 16 Representación de la gravedad construida por G1 en la sesión S6.....	121
Figura 17 Representación de la gravedad construida por G2 en la sesión S6.....	124
Figura 18 Carta realizada por el grupo G1 en la S6.....	125
Figura 19 Carta realizada por el grupo G2 en la S6.....	127
Figura 20 Dibujo del modelo experimental construido por G1 en S2	137

Figura 21 Explicación de G1 en la S2 sobre el por qué si la fuerza gravitacional es de atracción los planetas se mantienen en sus órbitas	138
Figura 22 Sistema solar newtoniano construido por G1 en S2	139
Figura 23 Dibujo del sistema solar newtoniano realizado por G2	143
Figura 24 Comentario del G2 después de la mesa de diálogo realizada en S2	145
Figura 25 Respuesta del G1 al cuestionamiento sobre las diferencias entre la masa y el peso ..	146
Figura 26 Respuesta del G2 al cuestionamiento sobre las diferencias entre la masa y el peso ..	147
Figura 27 Tabla de datos construida por G1 en la actividad experimental de la S5	148
Figura 28 Tabla de datos construida por G2 en la actividad experimental de la S5	148
Figura 29 Evidencias fotográficas del trabajo experimental realizado en el ascensor.....	149
Figura 30 Evidencias fotográficas del trabajo experimental realizado en el ascensor.....	149
Figura 31 Construcción de un sistema solar euleriano por parte de G1 y G2 en S3.....	160
Figura 32 Construcción de un sistema solar cartesiano por parte de G1 y G2 en S3	160
Figura 33 Perspectiva final del concepto de gravedad del G2 en S3	162
Figura 34 Conclusión mesa de diálogo de S3	164
Figura 35 Entrega de las cartillas didácticas a los estudiantes del semillero de física y a la bibliotecaria de la institución educativa	167

Siglas, acrónimos y abreviaturas

IECE	Institución Educativa Comercial de Envigado
MEN	Ministerio de Educación Nacional
DBA	Derechos Básicos de Aprendizaje
PEI	Proyecto Educativo Institucional
ESO	Escuela Secundaria Obligatoria
NdC	Naturaleza de la Ciencia
GU	Gravitación Universal
ECCE	Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza
11CNFyA	Onceavo Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía

Resumen

Este proyecto de investigación surge a raíz de las experiencias vividas por los investigadores durante las clases de física que abordaron la perspectiva clásica de la gravitación en los grados décimo de una institución educativa pública en el municipio de Envigado. En estos espacios, se evidenció una escasez de actividades orientadas a la construcción de explicaciones mediante procesos experimentales y al intercambio de ideas entre los estudiantes.

En ese sentido, el objetivo general fue analizar las posibles contribuciones de una propuesta didáctica en la que se plantean reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación para la generación de procesos discursivos en un grupo de estudiantes del décimo grado.

La metodología fue cualitativa y el método de investigación utilizado fue un estudio de caso instrumental, por recomendación de las directivas institucionales se decidió abrir un semillero de física para estudiantes del grado décimo, en vista que la participación era de libre elección y la mayoría de los estudiantes ya tenían otras actividades complementarias; el espacio de formación contó con nueve participantes, los cuales asistieron a las siete sesiones del semillero.

Como conclusión principal, es posible decir que, el semillero de física fue un espacio de formación en donde se pudo contextualizar una enseñanza de la física que intenta abandonar la transmisión de verdades absolutas, brindando la oportunidad a los estudiantes para que, a través de procesos discursivos y actividades experimentales, vivan la complejidad de intentar comprender un mundo natural que requiere ser construido y validado de forma colectiva.

Palabras clave: Naturaleza de la ciencia, Gravitación, Procesos discursivos, Perspectiva sociocultural, Experimentación cualitativa exploratoria.

Abstract

This research project arises from the experiences lived by the researchers during physics classes that addressed the classical perspective of gravitation in the tenth grades of a public educational institution in the municipality of Envigado. In these settings, a shortage of activities focused on constructing explanations through experimental processes and on the exchange of ideas among the students was evident.

In this regard, the general objective was to analyze the potential contributions of a didactic proposal that engages reflections on the nature of science regarding the phenomenon of gravitation to generate discursive processes in a group of tenth-grade students.

The methodology was qualitative, and the research method used was an instrumental case study. At the recommendation of the institutional authorities, a physics workshop was opened for tenth-grade students, considering that participation was voluntary, and most students were already engaged in other complementary activities. The training space had nine participants who attended the seven sessions of the workshop.

As the main conclusion, it can be stated that the physics workshop was a training space where a physics education attempting to move away from the transmission of absolute truths could be contextualized. It provided students with the opportunity to, through discursive processes and experimental activities, experience the complexity of attempting to comprehend a natural world that needs to be collectively constructed and validated.

Keywords: Nature of science, Gravitation, Discursive processes, Sociocultural perspective, Exploratory qualitative experimentation.

Introducción

Este informe de investigación emerge a partir de las prácticas pedagógicas finales de la Licenciatura en Matemáticas y Física adscrita a la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia. En este espacio de formación los maestros investigadores realizaron sus prácticas de observación e inmersión en las clases de física de los grados décimos de una Institución Educativa Pública del municipio de Envigado, Antioquia.

En dicho contexto se evidenció una excesiva matematización de la física, lo cual no permitía que los estudiantes se conectaran de forma experiencial con las temáticas abordadas durante las clases. Además, al momento de explicar e introducir los conceptos eran pocas las preguntas que se les hacían a los estudiantes, esto provocaba que ellos percibieran a la física como un conjunto de conocimientos apartados de su contexto y sus experiencias.

Aunque se eligió trabajar un tema en concreto, la gravitación, lo que se problematiza es una enseñanza de la física que reduce el papel de los estudiantes al de ser un mero receptor de los conocimientos validados por la comunidad científica, lo cual no permite que ellos se vinculen de forma activa en las clases y se sientan capaces de construir explicaciones.

En vista de lo anterior, se procedió a construir una propuesta didáctica sobre el fenómeno de la gravitación con el objetivo de contextualizar una enseñanza de la física en donde los estudiantes fueran los protagonistas en el proceso de construir, defender y validar las explicaciones científicas.

Para lograr esto, se realizó un análisis histórico crítico sobre las perspectivas de Descartes, Newton y Euler respecto al fenómeno de la gravitación. A partir de lo cual, se construyeron diferentes actividades experimentales fundamentadas en los postulados de la experimentación cualitativa exploratoria.

En suma, la propuesta didáctica constó de siete sesiones, en ellas se abordaron diferentes formas de explicar el fenómeno de la gravitación y se analizaron diferentes situaciones físicas relacionadas con dicho concepto.

Es menester resaltar que, la propuesta didáctica contó con retroalimentación de profesoras y profesores expertos vinculadas al grupo de investigación ECCE (Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza), así mismo como una de las sesiones fue presentada en modalidad de

taller en el Onceavo Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía (11CNEFyA) tuvo retroalimentación de profesoras y profesores vinculados a la Universidad Pedagógica Nacional y a la Universidad del Valle. Todos los comentarios recibidos contribuyeron a mejorar la propuesta didáctica.

Por recomendación de las directivas de la institución educativa para realizar el trabajo de campo se abrió un semillero de física dirigido a los grados décimos, cuya participación fue de carácter voluntario. En total se inscribieron nueve estudiantes quienes participaron continuamente en las sesiones del semillero. Dado que, se buscó comprender e interpretar la interacción dialógica que emergió entre los estudiantes durante cada una de las sesiones del semillero, la investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cualitativo y el método de investigación utilizado fue un estudio de caso instrumental.

A modo de conclusión, es posible decir que, en el semillero se contextualiza una enseñanza de la física que intenta abandonar la transmisión de verdades absolutas brindando la oportunidad a los estudiantes; para que; a través de actividades experimentales, vivan la complejidad de intentar comprender a un mundo natural que requiere ser construido y validado socialmente.

En síntesis, este trabajo tiene los siguientes apartados:

En el capítulo uno, se construye el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, la justificación, los antecedentes y los objetivos.

En el capítulo dos, se presentan las consideraciones teóricas que guían la investigación tales como la conceptualización de la Naturaleza de la Ciencia, de la práctica científica desde una perspectiva sociocultural y de la experimentación cualitativa exploratoria.

En el capítulo tres, se expone el diseño metodológico de investigación que contiene los siguientes apartados: tipo de investigación, método de investigación, presentación del contexto, criterios para la selección de los participantes, estrategias para la recolección de la información, la fundamentación teórica de la propuesta didáctica y su descripción rigurosa, el plan de análisis y las estrategias para la triangulación de la información.

En el capítulo cuatro, se realiza el análisis de la información por cada subcategoría de investigación y por cada indicio asociado a ellas, estableciendo en este proceso vínculos entre los objetivos de investigación, el marco teórico y los hallazgos, esto con la intención de garantizar una coherencia interna.

Finalmente, en el capítulo cinco, se elaboran las conclusiones derivadas de la investigación y se realizan una serie de reflexiones que resaltan la importancia de estos procesos investigativos como medio de preparación para enfrentar con responsabilidad y rigurosidad los desafíos de la profesión docente. Además, se plantea un conjunto de preguntas a modo de nuevas rutas de investigación que se podrían abrir a partir de los hallazgos obtenidos en este trabajo.

Planteamiento del Problema

La enseñanza de las ciencias ha estado históricamente permeada por una perspectiva positivista del conocimiento científico. Debido a ello, es usual que algunos maestros centren su atención en transmitir la mayor cantidad de contenidos posibles, o más bien, los resultados teóricos que, aparentemente, no necesitan ninguna discusión porque ya se encuentran validados por una comunidad científica. Esto tiene como consecuencia que el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela se reduzca a la manipulación de ecuaciones matemáticas, a la solución de problemas descontextualizados y a los procesos experimentales tipo receta (García, 2011; Aduriz y Ariza, 2013; Romero, 2013a; Agudelo et al., 2019).

Lo anterior es problemático, porque bajo esta perspectiva al estudiante no se le concibe como una persona capaz de construir sus propias explicaciones, resolver problemas o realizar procesos experimentales en los que no haya una serie de pasos previamente establecidos. En síntesis, podría decirse que al estudiante se le invita a tener una actitud pasiva frente a los conocimientos que está aprendiendo, ya que el maestro es quien posee la *verdad* o, más bien, la última palabra frente a los conceptos que se discuten en las clases (Aguilar et al., 2002).

En consecuencia, los maestros que planean sus prácticas pedagógicas bajo esta lógica suelen centrar su atención en que los estudiantes comprendan al trabajo científico como la aplicación sistemática de una serie de pasos asociados al método científico; como el planteamiento de hipótesis, el diseño de experimentos y la transformación de las hipótesis en teorías (Aguilar et al., 2002; García, 2011; Romero, 2013b).

Si este modelo se aplica durante gran parte de la formación de los estudiantes, estos asumirán que el método científico está en la génesis de la ciencia. Por ende, van a esperar que cualquier maestro, en sus clases, les proporcione con rapidez las respuestas (en forma de hipótesis)

a los problemas científicos abordados y que luego los lleve al laboratorio para comprobar la validez de estos principios, utilizando para ello montajes experimentales prediseñados. Esto, en última instancia, convierte a la experimentación en un proceso sistemático cuyo único fin radica en la comprobación de enunciados teóricos (Aguilar et al., 2002; García, 2011; Romero, 2013b).

Lo anterior, tiene como consecuencia que el estudiante ponga resistencia a procesos de enseñanza diferentes centrados en privilegiar sus ideas, preguntas y explicaciones; antes que proporcionar una respuesta desde un principio a los problemas abordados durante las clases; y que pretendan orientar la construcción de conocimiento a través de un proceso colectivo de reflexión, diálogo, experimentación y acuerdos (Aguilar et al., 2002; García, 2011; Romero, 2013b).

Lo expuesto anteriormente está relacionado con los registros de observación realizados por los investigadores durante las prácticas pedagógicas en la Institución Educativa Comercial de Envigado (IECE). En estas experiencias los investigadores propusieron diferentes actividades experimentales en grado décimo y undécimo para abordar los conceptos de masa, peso, fuerza gravitacional y campo eléctrico. En las implementaciones se observó que a los estudiantes les cuesta trabajar en equipos, les incomoda responder preguntas donde deben construir explicaciones a partir de experiencias, se sienten nerviosos e inseguros si deben compartir las explicaciones que construyeron sobre algún fenómeno físico, a menudo no se escuchan entre sí y tienden a menospreciar las ideas de los demás. Estos comportamientos de los estudiantes frente a las propuestas didácticas que se proponen son consecuencia de la cosmovisión del conocimiento científico desde la que se les ha educado, pues sus perspectivas no solían tener relevancia y las discusiones en equipo no eran tan usuales.

Un ejemplo de esto puede observarse en una experiencia de los investigadores en la clase del miércoles 14 de septiembre de 2022 sobre fuerzas mecánicas especiales en el grado 10-4. El maestro realiza la siguiente pregunta: ¿cómo surge la fuerza gravitacional? una estudiante le responde: *surge cuando el cuerpo se ubica en el centro de la Tierra*. Hay otros estudiantes con la mano levantada, sin embargo, el maestro hace caso omiso y cierra la discusión comentando que: *la fuerza gravitacional surge cuando un cuerpo interactúa con la Tierra*. Se entiende que en ocasiones la premura por cumplir con el currículo hace que los maestros se vean obligados a continuar las temáticas sin escuchar las perspectivas de los estudiantes sobre el fenómeno físico en cuestión, pero este tipo de hechos a largo plazo puede generar situaciones en las que los estudiantes

no se sientan protagonistas de sus propios procesos de aprendizaje, lo cual a su vez conlleva a que empiecen a concebir a la ciencia, y particularmente, a la física, como un conjunto de conocimientos ajenos a ellos y a su entorno.

Complementario a lo anterior, estas posturas autoritarias por parte de algunos maestros en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física contribuyen a fortalecer el mito de que los conocimientos científicos sólo pueden ser entendidos por unas pocas personas como consecuencia de su objetividad y su aparente complejidad, lo cual no permite crear las condiciones necesarias para que los estudiantes se sientan capaces de pensar por sí mismos y lograr construir sus propias explicaciones (Pearce, 2013; Hodson, 2013; Agudelo et al., 2019), exigencias que el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y la Institución Educativa Comercial de Envigado le hacen a la educación científica desde sus documentos rectores.

En los Estándares de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas (MEN, 2006) está consignado que: “Si entendemos la ciencia como una práctica social es posible comprender que dicha práctica asume unas connotaciones particulares en los contextos escolares, toda vez que no se trata de transmitir una ciencia verdadera y absoluta” (p.99). De forma similar, en los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales (MEN, 1998) se menciona que:

La tarea de enseñar ciencias se convierte en la tarea de simular para el alumno un ambiente equivalente a aquél en el que el científico construye teorías y diseña arreglos experimentales para contrastarlas, con el fin de que, al igual que el científico, el estudiante construya, o para ser más precisos, reconstruya conocimiento acerca de los fenómenos estudiados por las ciencias naturales. Esta actividad de reconstrucción es el mejor camino para lograr la comprensión cabal de estos fenómenos. (p. 65)

En esta misma línea de pensamiento, la Institución Educativa Comercial de Envigado en su Proyecto Educativo Institucional (PEI) exige que las clases de ciencias naturales sean espacios para el libre desarrollo de la personalidad, la creatividad y el pensamiento de los estudiantes. Esto implica que los conocimientos disciplinares no son el fin, sino el medio para una formación centrada en el desarrollo integral de los estudiantes. Según la Institución Educativa Comercial de Envigado (IECE, 2019):

(...) la enseñanza de la ciencia debe centrarse en la generación de contextos imaginarios de construcción y validación de explicaciones por parte de los estudiantes y profesores, en donde se parte de las ideas previas de los estudiantes para llegar, a través de un proceso, a lo ya establecido por la comunidad científica. Desde esta perspectiva, el maestro y el estudiante desempeñan un papel activo ya que se encuentran comprometidos con la construcción del conocimiento y no con la mera transmisión y recepción de lo construido por otros. (p. 60)

En lo mencionado hasta este punto, se encuentra una desvinculación entre lo exigido por el MEN (1998, 2006) y la IECE (2019) en sus documentos rectores y la forma en cómo se llevaron a cabo algunas clases de física observadas por los investigadores. En vista de que la mayoría de estas clases estuvieron relacionadas con las fuerzas mecánicas especiales y la gravitación, el problema se centró en este último fenómeno físico, pero cabe aclarar que la problemática no es meramente conceptual, más bien está relacionada con una perspectiva de ciencia que por su naturaleza objetiva invisibiliza el rol protagónico que tienen los estudiantes en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física (García, 2011; Agudelo et al., 2019).

Con la intención de estudiar algunas de las investigaciones que se han realizado sobre la enseñanza de la gravitación se hizo un rastreo de literatura. Este proceso reveló que, tanto a nivel nacional como local, el enfoque principal en la enseñanza de la gravitación se ha centrado en la comprensión matemática de la caída de los cuerpos, así como en la aplicación sistemática de la ley de gravitación universal en los problemas clásicos que aparecen en los libros de texto. Aunque se han desarrollado actividades experimentales interesantes, la mayoría de los análisis se han enfocado en determinar si facilitan o no la comprensión de las variables físicas relacionadas con la caída de los cuerpos por parte de los estudiantes. Sin embargo, se ha explorado poco la trascendencia de estas actividades en el fomento de escenarios discursivos en las clases de física vinculadas al fenómeno de la gravitación (Amelines y Rodríguez, 2008; Machado et al., 2011; Santos, 2015; Castañeda, 2017; Claret, 2019; Cardona, 2021).

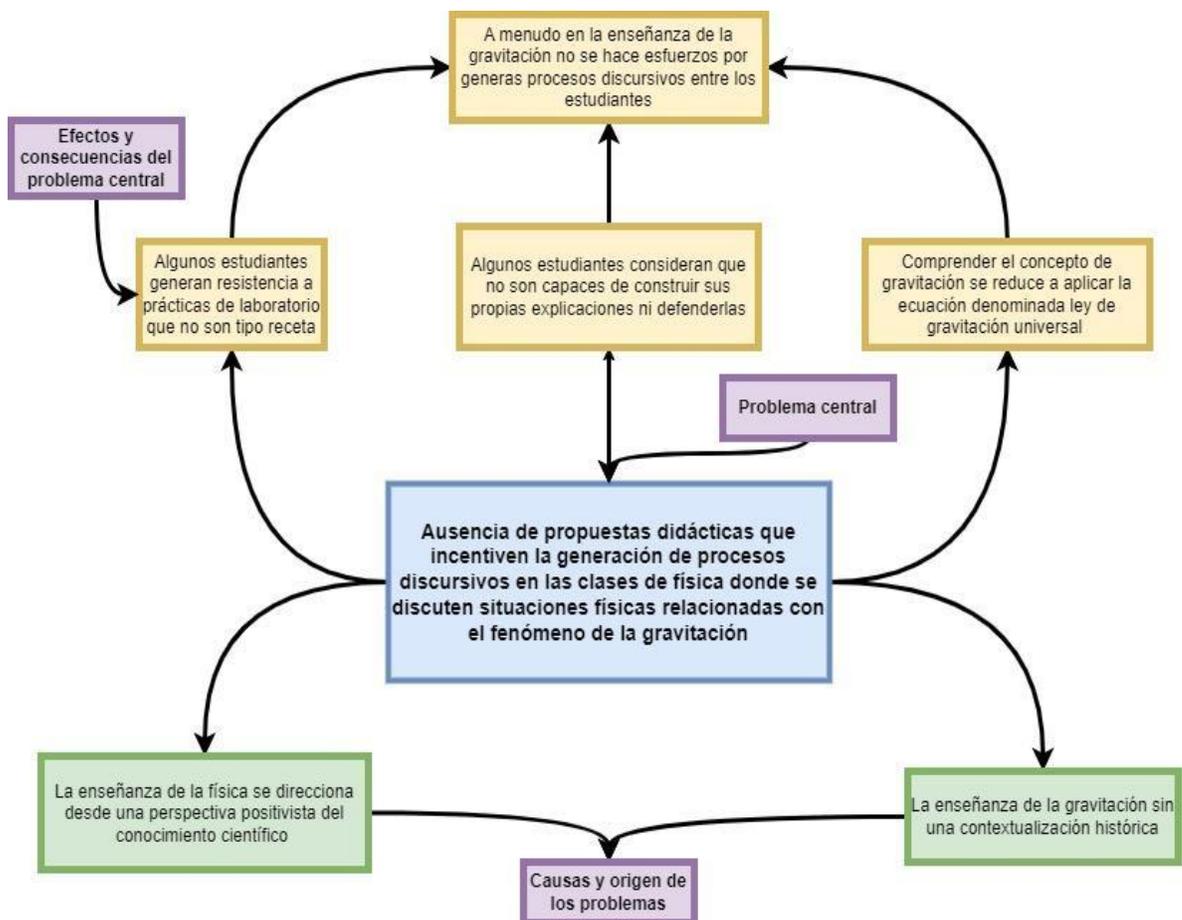
Con base en las consideraciones expuestas anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las posibles contribuciones de una propuesta didáctica en la que se plantean reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia, en torno al fenómeno de la gravitación, para

la generación de procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo de una institución educativa pública en el municipio de Envigado?

A modo de síntesis se presenta el siguiente esquema que resume de forma detallada la problemática evidenciada durante las prácticas pedagógicas realizadas por los investigadores en la IECE.

Figura 1

Esquema derivado del problema de investigación



Nota. La figura muestra un esquema que resume el problema de investigación evidenciado por los investigadores en el centro de práctica. Fuente: construcción propia.

Justificación

Desde la década de los ochenta, se viene consolidando en la comunidad académica una línea de investigación que destaca las contribuciones de las reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en la formación de profesores, exponiendo que estas les permiten construir una comprensión más completa del trabajo científico, al concebirlo como una práctica humana e interesada que se encuentra influenciado por las dinámicas socioculturales de los contextos en donde se desarrolla (Ayala, 2006; Acevedo et al., 2017; Velilla, 2018).

En ese sentido, el trabajo científico no sólo está relacionado con asuntos propiamente de las ciencias, como el diseño de experimentos o el planteamiento de hipótesis, sino que también al ser una práctica humana situada en un contexto histórico, se encuentra influenciada por las dinámicas sociales que se tejen allí, esto puede ejemplificarse a través de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea, en donde la política y la economía tuvieron una gran participación en la elección de quien de los dos había construido un protocolo experimental con mayor credibilidad.

Según Acevedo et al., (2017) y Velilla (2018) este tipo de asuntos que están relacionados con una visión sociológica de la ciencia han sido poco abordados en los contextos de enseñanza, sobre todo en la enseñanza de la física, puesto que el énfasis se ha puesto en la comprensión de los aspectos internos de la ciencia. Esto no quiere decir que se deban dejar de lado, sino que para una adecuada alfabetización científica se hace necesario que en las propuestas de enseñanza se exponga una perspectiva del trabajo científico que permita comprenderlo de forma complementaria desde sus dos esferas de desarrollo: la interna y la sociocultural (Ayala, 2006; Romero 2013a; Acevedo et al., 2017).

Adicionalmente, Romero (2013a; 2013b) expone que es necesario superar la enseñanza de las ciencias, y en particular de la física, que se suele centrar únicamente en la transmisión de productos o resultados teóricos sin establecer un vínculo con las experiencias de los estudiantes. En lugar de esto, recomienda que la enseñanza de las ciencias debe enfocarse en la construcción de una ciencia escolar, creando para ello espacios y actividades en las clases que les permitan a los estudiantes construir sus propias explicaciones sobre algunos fenómenos físicos que suceden en el mundo natural, y así generar las condiciones para que ellos puedan asumir posturas críticas respecto

a los enunciados teóricos que se encuentran validados por la comunidad científica. En este proceso, los estudiantes se enfrentan a la incertidumbre de no poseer una respuesta para todas las preguntas que emergen al intentar comprender un mundo natural que necesita ser construido y validado de forma colectiva.

Como se expuso en el planteamiento del problema, los investigadores durante sus prácticas pedagógicas en la IECE evidenciaron que la enseñanza de la física, en los grados décimo, se estaba llevando a cabo bajo una perspectiva positivista, reduciendo el rol del estudiante en las clases a ser un mero receptor del conocimiento validado por la comunidad científica. Esto se evidenció especialmente, en las clases donde se abordó el fenómeno de la gravitación, pues su enseñanza se centró únicamente en la aplicación descontextualizada de la ecuación matemática denominada, en los libros de texto, como la ley de gravitación universal.

Por su parte, en el rastreo de los antecedentes no se encontraron muchas investigaciones que hubiesen abordado de forma histórica al fenómeno de la gravitación con la intención de destacar, en este proceso, la provisionalidad de las explicaciones científicas y al conocimiento científico como el resultado de una actividad humana que se ve afectada por la idiosincrasia de quienes la realizan.

En este sentido, la investigación que se plantea aquí es pertinente porque, por un lado pretende exponer una forma distinta de enseñar el fenómeno de la gravitación al contextualizar, mediante actividades didácticas, diferentes perspectivas sobre este concepto y su vínculo con la idiosincrasia de quienes las construyeron. Por otro lado, este proyecto busca generar las condiciones para que los estudiantes puedan construir explicaciones, debatir, discernir, enojarse, intentar convencer a los otros ofreciendo buenas razones, frustrarse y enfrentarse a preguntas similares a las que se hicieron Descartes, Newton y Euler en la construcción de sus teorías sobre la gravitación. Es decir, en esta investigación se prevé generar las condiciones para construir junto con los estudiantes una ciencia escolar, en la que ellos sean los protagonistas de la construcción y validación de los conocimientos científicos.

Lo anterior, también se exige desde el PEI de la institución IECE (2019), su Plan de Área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (Aguilar et al., 2018) y los Estándares Básicos de Ciencias Naturales y Ciencias Sociales (MEN, 2006) cuando allí se menciona que:

Si entendemos la ciencia como una práctica social es posible comprender que dicha práctica asume unas connotaciones particulares en los contextos escolares, toda vez que no se trata de transmitir una ciencia “verdadera” y “absoluta”, sino asumirla como una práctica humana, fruto del esfuerzo innovador de las personas y sus colectividades. (p.99)

En resumen, este proyecto resulta pertinente como antecedente para la enseñanza de la física en la educación secundaria, ya que busca contextualizar el trabajo científico a través de la implementación de una propuesta didáctica como una práctica humana que se desarrolla de forma complementaria en dos dimensiones: la científica y la sociocultural. Además, se planea generar como resultado de investigación una cartilla didáctica para la institución, a modo de devolución y ejemplificación de otras alternativas para la enseñanza de la física, lo cual se espera sea una contribución que le permita a los maestros de la IECE contextualizar una perspectiva social de la ciencia en sus clases de física relacionadas con el fenómeno de la gravitación.

Antecedentes

De acuerdo con la pregunta de investigación, en el presente trabajo se buscó analizar las posibles contribuciones de una propuesta didáctica en la que se plantean reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación, para la generación de procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo. Por lo tanto, la redacción de los antecedentes se centró en una revisión crítica sobre reportes de investigación relacionados con la enseñanza de la gravitación.

Enseñanza de la gravitación

Para el desarrollo de esta revisión de literatura se analizaron tres investigaciones internacionales, tres nacionales y tres locales. En el rastreo bibliográfico de las investigaciones internacionales se utilizaron las bases de datos ERIC, Google Académico, Dialnet, Scielo y Springer, con un intervalo de tiempo entre 2015 y 2022. Respecto al rastreo de las investigaciones nacionales y locales se utilizaron los repositorios institucionales de la Universidad de Antioquia, la Universidad Pedagógica Nacional y la Universidad Nacional de Colombia. Para estas

investigaciones no se usó un intervalo de tiempo determinado porque al principio se presentaron problemas para encontrar estudios con una antigüedad no mayor a cinco años.

Nivel internacional

Elder Sales Teixeira, Ileana María Greca y Olival Freire son investigadores de España y Brasil adscritos a la Universidad Estatal de Feira de Santana, la Universidad Federal de Bahía y la Universidad de Burgos, respectivamente. En el año 2015 estos profesores publicaron una investigación en la Revista Enseñanza de las Ciencias que recibe como título *La enseñanza de la gravitación universal de Newton orientada por la historia y la filosofía de la ciencia: una propuesta didáctica con un enfoque en la argumentación*. La investigación tuvo como base investigaciones e intervenciones que habían elaborado anteriormente en el contexto de la formación de maestros en física relacionadas con la enseñanza de la gravitación universal (GU) y el desarrollo de la argumentación. Su objetivo principal fue construir una propuesta didáctica basada en tres pilares: estudios sobre la filosofía y la historia de la GU, la concepción del conocimiento científico como una construcción colectiva y los postulados de Toulmin sobre la estructura de los argumentos. En este sentido, las actividades que proponen los investigadores están direccionadas a generar discusiones entre los participantes a través de experimentos mentales y preguntas abiertas, su énfasis está en hacer que los estudiantes se enfrenten a las preguntas que en un pasado se hizo Newton sobre la mecánica celeste. En suma, su propuesta didáctica consta de doce sesiones de cincuenta minutos cada una, justo esta exigencia representa para los investigadores un aspecto a mejorar en su propuesta didáctica pues no es prudente en un curso dedicar tanto tiempo a un solo tema. Finalmente, concluyen que una propuesta de este tipo le puede aportar al maestro herramientas que le permitan mejorar sus prácticas pedagógicas para ir superando el carácter relegado que tiene el concepto de gravedad en la educación media brasileña.

En el mismo contexto brasileño se encontró la investigación titulada *O ensino de gravitação universal na educação básica: uma reflexão a partir de pesquisas brasileiras*, la cual fue publicada en el año 2020 en la revista *Research, Society and Development* por los profesores Danúbia Damiana Santos Bonfim y William Junior Do Nascimento adscritos a la Universidad Estatal del Norte de Paraná y a la Universidad Federal de Paraná, respectivamente. Estos profesores realizaron

una revisión de literatura sobre las investigaciones relacionadas con la enseñanza de la gravitación en el contexto de la educación básica y media brasileña. Como resultado de dicha revisión, reportan que las propuestas didácticas para abordar el tema de la gravitación han sido basadas en la lectura de divulgación científica, películas de ciencia ficción, videos, obras de teatro, tecnologías digitales, simulaciones, experimentación e historia de la ciencia. Los investigadores reconocen que los trabajos analizados reportan grandes esfuerzos por mostrar a los estudiantes el concepto de gravedad como un problema que aún no ha sido resuelto del todo, así mismo resaltan que las actividades propuestas usualmente parten de experiencias cotidianas. Sin embargo, invitan a la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias a construir propuestas más acordes con las problemáticas de los contextos escolares brasileños de educación básica. En los cuales, según los investigadores, es difícil contar con recursos tecnológicos avanzados y la formación del profesorado en historia de la ciencia es bastante insuficiente.

En el contexto español se encontró la investigación titulada *¿Qué explica la Física sobre la influencia de la Luna en la Tierra?*, la cual fue publicada en el año 2021 en la Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias por los profesores investigadores Jordi Solbes, José Cantó, Olga Mayoral y Tatiana Pina adscritos al Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universidad de Valencia. Esta investigación se dividió en dos partes: (1) análisis de cómo algunos libros de texto para la enseñanza de la física abordan la influencia gravitacional de la Luna sobre la Tierra, (2) diseño de una propuesta didáctica para abordar la temática en cuestión. El proyecto de investigación surge porque en estudios previos los investigadores habían encontrado que tanto estudiantes de bachillerato como maestros en formación y en oficio de ciencias naturales tenían preocupantes desconocimientos sobre la influencia de la Luna sobre la Tierra la mayoría de estos basados en creencias populares o, como las llaman los investigadores, ideas pseudocientíficas.

Con respecto a la primera parte de la investigación sus principales hallazgos fueron que en la mayoría de los textos de bachillerato analizados no abordan la influencia gravitacional de la Luna en los movimientos de los seres vivos y en el mantenimiento de la vida terrestre. En cuanto a los libros universitarios, encontraron que algunos lo hacen a través de fragmentos históricos descontextualizados o utilizando ejercicios clásicos tales como calcular el campo gravitacional de la Luna, su masa y la fuerza gravitacional que presenta con la Tierra.

En relación con el diseño de la propuesta didáctica los investigadores tuvieron como objetivo principal incentivar el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes al reflexionar sobre situaciones físicas relacionadas con el movimiento de la Luna y su interacción gravitacional con la Tierra. Las actividades propuestas están relacionadas con la comprensión de datos astronómicos sobre la Luna, la manipulación de la ecuación denominada ley de gravitación universal, el reconocimiento de las mareas lunares reales y ficticias, la comprensión del concepto de campo gravitacional y la influencia de las fases lunares en procesos biológicos como la fotosíntesis. Resulta importante mencionar que la propuesta didáctica no fue aplicada en un contexto determinado; más bien, la intención de los investigadores era compartir un material didáctico para que los maestros de ciencias naturales en ejercicio pudieran contextualizar, en sus clases, la influencia gravitacional de la Luna en el funcionamiento físico y biológico del planeta Tierra.

Nivel nacional

En el contexto nacional, se encontró la investigación de maestría titulada *Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de fuerza gravitacional a partir del estudio del movimiento de los planetas y satélites* realizado por el profesor Eduardo Santos Galvis en el año 2015 como requisito parcial para optar al título de *Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales* en la Universidad Nacional de Colombia. Su investigación fue llevada a cabo en el Colegio Isabel Valbuena Cifuentes del municipio de Vélez ubicado en el departamento de Santander. Tuvo como objetivo principal establecer una relación entre la física y la astronomía usando a través de la ley de gravitación universal, para ello el investigador construyó una propuesta didáctica basada en el aprendizaje por proyectos en la que planteó las siguientes actividades: presentación teórica de las leyes de Kepler y de la ley de gravitación universal, resolución de problemas relacionados con órbitas planetarias e interacciones gravitacionales entre cuerpos masivos, construcción manual de planetas, satélites y nebulosas, visita al observatorio astronómico de Zaquencipá para observar, a través de sus telescopios, algunos planetas del sistema solar, por último se abordó las consideraciones energéticas sobre las ecuaciones para la velocidad de escape terrestre y los movimientos lunares. Como conclusión de la investigación, se destaca que la

experimentación cualitativa, la construcción manual de sistemas planetarios y la visita a museos u observatorios astronómicos permite que los estudiantes se sientan parte de la construcción de los conocimientos. A su vez, este involucramiento propicia debates académicos con sus compañeros, y desde la perspectiva del investigador, fomenta una formación integral en los estudiantes.

Con un énfasis similar al anterior antecedente, se encontró la investigación de maestría titulada *El movimiento de los cuerpos debido a la gravitación: Una explicación para estudiantes de grado décimo del colegio Rosario de Santo Domingo* realizada por el profesor Carlos Andrés Castañeda Sua en el año 2017 como requisito parcial para optar al título de *Magister en Enseñanzas de las Ciencias Exactas y Naturales* en la Universidad Nacional de Colombia. Su investigación fue llevada a cabo en una institución educativa pública de la ciudad de Bogotá, tenía como objetivo construir e implementar una propuesta didáctica para abordar a través del trabajo colaborativo las leyes de Kepler y las consideraciones energéticas de la fuerza gravitacional. Dentro de las actividades implementadas se destacan las siguientes: representación gráfica de la aceleración centrípeta en trayectorias circulares, actividad experimental para analizar los cambios que se presentan en el peso de una persona mientras sube o baja por un ascensor y la determinación de la aceleración gravitacional en la Tierra a través de péndulos simples. Como conclusión principal, el investigador menciona que implementar el trabajo colaborativo en sus clases de física le permitió generar discusiones asertivas y respetuosas entre los estudiantes con lo cual estos se sintieron partícipes en la construcción del conocimiento científico.

En la misma ciudad, pero en un entorno rural se encontró la investigación de maestría titulada *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de la caída de los cuerpos: propuesta experimental* realizada por el profesor Harold Mauricio Claret Valencia en el año 2019 como requisito parcial para optar al título de *Magister en Docencia de las Ciencias Naturales* en la Universidad Pedagógica Nacional. Este trabajo de investigación fue realizado en la Institución Educativa Rural Departamental Chimbe, tuvo como objetivo principal construir una propuesta didáctica para abordar el fenómeno de la caída de los cuerpos desde la perspectiva galileana. Las actividades que se propusieron pretendían contextualizar algunos experimentos físicos y mentales realizados por Galileo mientras experimentaba con la caída de los cuerpos tanto en el aire como en fluidos con diferentes densidades. Debido a esto, durante la implementación de su propuesta los estudiantes pusieron en discusión los conceptos de rozamiento, peso, masa, velocidad límite, fuerza

de empuje y fuerza gravitacional. Entre las principales conclusiones de su estudio el investigador resalta que el uso de fragmentos históricos de primera fuente le permitió introducir en sus clases el problema de la caída de los cuerpos a partir de experiencias sensibles y cualitativas, lo cual a su vez generó en el aula confianza y respeto entre los estudiantes para exponer con tranquilidad sus ideas sobre las situaciones físicas analizadas.

Nivel local

En el contexto local se encontró la tesis de pregrado titulada *Principio de la gravitación universal desde una perspectiva histórica y epistemológica: del estado natural de los cuerpos, a la atracción gravitacional. Una propuesta para el aula de clase* realizada por las profesoras Paula Andrea Amelines Rico y Diana Patricia Rodríguez Ramírez en el año 2008 como requisito parcial para optar al título de Licenciadas en Ciencias Naturales en la Universidad de Antioquia. Esta investigación fue llevada a cabo en el contexto de la IECE, tuvo como objetivo principal analizar las perspectivas que los estudiantes tenían sobre la caída de los cuerpos y la práctica científica. En consecuencia, los talleres didácticos que propusieron estuvieron enfocados en cuestionar a los estudiantes sobre sus perspectivas acerca del movimiento de los planetas, el origen de las fuerzas, la influencia de la gravedad en la vida cotidiana, la relación de la fuerza gravitacional con el desarrollo de algunas semillas y las similitudes entre el carácter atractivo de la fuerza magnética con la fuerza gravitacional. Como principales conclusiones, las investigadoras exponen que la mayoría de los estudiantes tenían ideas aristotélicas o galileanas sobre la caída de los cuerpos, además expresan que usualmente los estudiantes no se sentían partícipes en la construcción de los conocimientos porque según ellos esa tarea les pertenecía únicamente a los científicos.

En la misma institución educativa, se encontró la investigación de pregrado titulada *Recontextualización en la enseñanza del concepto de gravedad a partir de un análisis histórico-epistemológico de la perspectiva galileana* realizada por las profesoras Isabel Cristina Machado Monsalve, Eliana Andrea Restrepo Ramírez e Isned Elena Sossa Jaramillo en el año 2011 como requisito parcial para optar al título *Licenciadas en Matemáticas y Física* en la Universidad de Antioquia. Su investigación tuvo como objetivo diseñar una propuesta didáctica para abordar el concepto de gravedad desde la perspectiva de Galileo. Las investigadoras construyeron e

implementaron actividades relacionadas con la caída de los cuerpos en diferentes medios continuos, la cuantificación de la aceleración y la experimentación mental. También realizaron entrevistas semiestructuradas donde proponían situaciones físicas parecidas a las que abordaron durante las actividades, esto con la finalidad de poner a prueba los conocimientos adquiridos por los estudiantes durante el desarrollo de las actividades. Como conclusión principal, los investigadores mencionan que la metodología de Galileo para el estudio de la caída de los cuerpos compuesta de diálogos entre perspectivas de explicación opuestas permite construir propuestas didácticas que le exigen al estudiante tener una actitud crítica frente a sus propias explicaciones y las de los demás.

Finalmente, se encontró la tesis de maestría que recibió como título *Caracterización del error como una herramienta dinamizadora en el aprendizaje del fenómeno de gravitación universal a través del diálogo mayéutico* realizada por el profesor Bairon Cardona Rendón en el año 2021 en el Colegio Montessori de la ciudad de Medellín como requisito parcial para optar al título de *Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales*. El objetivo principal de su investigación fue construir una propuesta didáctica que permitiera a partir del diálogo mayéutico identificar y corregir las concepciones de los estudiantes sobre la fuerza gravitacional. Las actividades que propuso estuvieron enfocadas en la comprensión de las leyes de Kepler, la identificación de las variables físicas que componen a la ley de gravitación universal y la resolución de preguntas conceptuales sobre la fuerza gravitacional entre la Tierra y la Luna. Su conclusión principal fue que dar espacio para el error y la reconsideración de las explicaciones por parte de los estudiantes permite que estos mejoren sus aprendizajes y participen con tranquilidad de las actividades propuestas en las clases.

Conclusión del análisis de los antecedentes

Desde la perspectiva de Acevedo y García (2017), se destaca que las reflexiones propuestas comúnmente en la enseñanza de las ciencias se centran en los aspectos epistémicos de las teorías científicas, como la validez teórica y experimental de las explicaciones construidas por determinados científicos. Sin embargo, a menudo se pasan por alto los aspectos no epistémicos relacionados con la influencia de los conocimientos culturales en la construcción de las teorías

científicas y las controversias surgidas entre diferentes modelos de explicación sobre un hecho científico específico. Esta problemática se evidencia en gran parte de los trabajos relacionados con la enseñanza de la gravitación referenciados en los antecedentes, especialmente en las investigaciones de Amelines y Rodríguez (2008) y Machado, Restrepo y Sossa (2011), realizadas en el contexto de la IECE. Por lo tanto, la presente investigación cobra relevancia al proponer la contextualización de algunas controversias surgidas en la explicación del fenómeno de la gravitación a través de una propuesta didáctica. Al mismo tiempo, busca hacer explícitos los vínculos entre las creencias personales de algunos científicos y la construcción de sus teorías sobre la gravitación.

Objetivos

Objetivo general

Analizar las posibles contribuciones de una propuesta didáctica en la que se plantean reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación para la generación de procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo de una institución educativa pública en el municipio de Envigado.

Objetivos específicos

Identificar con base en los discursos de los estudiantes posibles contribuciones de las reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación para la comprensión de la práctica científica desde una perspectiva sociocultural.

Describir los posibles aportes de la experimentación cualitativa exploratoria para la construcción, defensa y validación de explicaciones relacionadas con situaciones físicas que involucran al fenómeno de la gravitación.

Marco Teórico

En concordancia con la pregunta de investigación y los objetivos planteados, la fundamentación teórica de esta investigación inicia con una definición de lo que se entiende por naturaleza de la ciencia. Luego, a partir de un análisis epistemológico, se expone la perspectiva del trabajo científico que se asume en esta investigación. Esto genera las condiciones para conceptualizar la práctica científica desde una perspectiva sociocultural, al mismo tiempo que se resaltan las implicaciones didácticas que tiene esta mirada en la enseñanza de las ciencias.

Por último, se construye un análisis histórico crítico sobre el fenómeno de la gravitación, destacando la fundamentación epistemológica de las explicaciones dadas por Newton, Descartes y Euler. Además, se expone de qué forma las creencias religiosas que tenían estos científicos influyeron en la construcción de sus teorías sobre el origen y la forma en cómo actúa la gravedad en los cuerpos. Todo este análisis se realiza con la intención de ubicar históricamente algunas controversias entre diferentes comunidades científicas que brindaron explicaciones sobre el fenómeno de la gravitación. Luego, se contextualiza este análisis en una propuesta de enseñanza que permita a los estudiantes reflexionar sobre la ciencia al mismo tiempo que construyen explicaciones relacionadas con situaciones físicas que involucran dicho fenómeno físico.

Naturaleza de la Ciencia

La naturaleza de la ciencia (NdC) se puede definir como un metaconocimiento que emerge de las reflexiones que se plantean sobre la constitución del conocimiento científico desde disciplinas como la filosofía, la historia, la antropología y la sociología de las ciencias. Esto no quiere decir que la idea de incluir la NdC en la enseñanza de las ciencias sea contextualizar en la escuela los antiguos debates sobre la práctica científica que se presentan en las ciencias sociales y humanas, sino más bien hacer evidentes de forma complementaria dos dimensiones que se presentan en la dinámica científica, a saber: la epistémica y la no epistémica.

Acevedo et al. (2017) apoyados en Lederman (2007) comentan que los asuntos epistémicos destacan las características internas de la ciencia o mejor dicho todo lo relacionado propiamente con la labor de los científicos, como, por ejemplo, la construcción de explicaciones científicas, el

diseño de experimentos, la implementación de diferentes metodologías, el diseño de criterios de validez, entre otros. Desde la perspectiva de Acevedo et al. (2017) estos asuntos son los que suelen tratarse con más frecuencia en la enseñanza de las ciencias y aunque son de crucial importancia, no implican necesariamente una adecuada alfabetización científica.

La ciencia no presenta un método científico definido; en esencia, es una construcción humana que se encuentra influenciada por valores culturales, ideologías, creencias personales de los científicos, cuestiones morales y éticas, visiones del mundo y creencias religiosas, género y feminismo, sentimientos e intereses, entre otros aspectos (Matthews, 2012). Según Acevedo et al. (2017), estas características, conocidas como los aspectos externos de la ciencia o no epistémicos, también deben ser contextualizadas en la enseñanza de las ciencias. No de manera desconectada con los asuntos epistémicos, sino de forma complementaria, evidenciando a través de las propuestas de enseñanza que aprender sobre la ciencia va más allá de comprender sus resultados y sus aspectos internos. En otras palabras, enseñar ciencias también se trata de generar las condiciones para que los estudiantes comprendan los procesos socioculturales que se han llevado a cabo en la construcción de los conocimientos científicos.

En síntesis, contextualizar las reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en el aula de clase no implica llevar a la escuela la historia, la filosofía o la sociología de la ciencia como asuntos que extiendan el currículo escolar. Por el contrario, lo que se pretende es generar las condiciones para analizar asuntos actuales que involucran relaciones entre ciencia, moral y tecnología, contextualizar controversias en la historia de la ciencia, fomentar la indagación científica escolar y realizar lecturas críticas sobre noticias científicas de la actualidad. Desde la postura de Acevedo et al. (2017), este tipo de actividades escolares aportan las herramientas necesarias para que los estudiantes comprendan a la ciencia desde una perspectiva más completa: como una labor humana que no solo le pertenece a una escasa población, sino que, como construcción social y colectiva, involucra a las culturas y sus saberes. No es algo externo o alejado de las personas y sus conocimientos. En palabras de los investigadores referenciados anteriormente:

(...) para que las personas puedan apropiarse de un conocimiento de la NDC más auténtico y holístico, la educación científica debe tener en cuenta los aspectos epistémicos y los no epistémicos, tal y como venimos sosteniendo. Esto implica la comprensión de los diversos

tipos de valores de la ciencia, propios y contextuales, que son consecuencia del carácter humano de la actividad científica, incluyendo sus limitaciones e influencias de diversa índole (Acevedo et al., 2017, p.23).

Ahora bien, dejando clara la perspectiva sobre la naturaleza de la ciencia que se asume en esta investigación, a continuación, se hará un análisis epistemológico del trabajo científico a la luz de los filósofos de la ciencia Karl Popper, Thomas Kuhn, Imre Lakatos y Paul Feyerabend, lo cual sienta las bases para la conceptualización de la práctica científica desde una perspectiva sociocultural.

Concepción de Ciencia y del Trabajo Científico

Usualmente se concibe al conocimiento científico como una explicación objetiva, ordenada y desinteresada del mundo natural. Esta idea conlleva a pensar que quien hace ciencia es un sujeto con la capacidad de abandonar todo juicio propio para entregarse sin cuestionamientos a seguir un conjunto de reglas. De esta manera, sería posible establecer una serie de criterios generales para reglamentar a la práctica científica, lo cual implica que quien no siga la normativa definida no pueda ser considerado como científico. Este afán de reducir la investigación científica a una secuencia de pasos tiene su génesis en el carácter objetivo que se busca darle al conocimiento científico, pues se espera que las explicaciones sobre el mundo natural se encuentren lo más alejadas posible de las contradicciones y la incertidumbre.

El único modo de hacerlo sería asegurarse de tener un método que si se aplica juiciosamente en toda investigación científica permitiría que cualquier investigador llegase siempre a los mismos resultados. A esta perspectiva del trabajo científico subyace una concepción de la realidad como algo externo a los sujetos que la estudian, así la ciencia sería esa herramienta con la que podrían dilucidar los secretos que ella esconde. En este sentido, las teorías científicas son un intento de acercarse a la verdad última, de ahí que el progreso científico se conciba como la continua superación de teorías, pues si se actúa de este modo en algún momento se podría llegar a una teoría última que explique la realidad en su totalidad (Aguilar et al., 2002; Velilla, 2018; Agudelo, Clavijo y Ocampo, 2019).

Para entender las razones por las cuales han surgido tales concepciones en torno a la constitución del conocimiento científico y cómo se han ido superando y extendiendo hacia otras ramas del saber, se hará un breve recorrido a través de los diferentes argumentos que surgieron a principios del siglo XX, con el nacimiento de la epistemología de las ciencias, teniendo en cuenta los planteamientos hechos por Karl Popper, Tomás Kuhn, Imre Lakatos y Paul Feyerabend. Finalmente se expondrá *grosso modo* la perspectiva sobre la constitución del conocimiento científico que se asume en este trabajo de investigación, pues se considera que la cosmovisión que tiene el maestro sobre el conocimiento científico afecta directamente la forma en cómo planea su práctica pedagógica. En esta misma línea, Ayala (2006) menciona lo siguiente:

En el ámbito de la formación de maestros de ciencias, se ha visto la historia y filosofía de las ciencias como una forma de incidir sobre la imagen que de la ciencia tienen los maestros, dado el importante papel que ésta juega en la orientación de su labor pedagógica. Se enfatiza, cada vez más, en enfoques que ponen presente el carácter constructivo del conocimiento científico y su historicidad, presentando la actividad científica ligada a los contextos en los que se realiza y respondiendo a las exigencias e intereses generados en esos contextos específicos (contextos intelectuales, sociales, políticos etc.). (p.20)

Karl Popper es uno de los filósofos de la ciencia que se le considera representante de la visión objetiva y metódica de la práctica científica. Este autor expone que el conocimiento científico es un medio para acercarse a la verdad última de una realidad objetiva compuesta de hechos empíricos. Por ello el progreso de la ciencia no obedece a un fin práctico o a un interés social, sino a una finalidad puramente intelectual o mejor dicho teórica. De esto se desprende que la mejor teoría científica es aquella que resista la mayor cantidad de pruebas; es decir, que logre explicar con solvencia todos los hechos empíricos conocidos hasta el momento. Es justo sobre este razonamiento que se funda el falsacionismo, si se encuentra en la naturaleza un hecho empírico que la teoría dominante no logre explicar o predecir, esta entra en un proceso de desestabilización y poco a poco va perdiendo protagonismo en la comunidad científica. Así el progreso científico se reduce a sustituir una teoría A por otra B, siempre y cuando la teoría B tenga un mayor poder explicativo y predictivo (Popper, 1991).

Respecto a lo expuesto en el párrafo anterior Popper en su obra *Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico* expone que:

(...) Mi propósito en esta conferencia es destacar la importancia de un aspecto particular de la ciencia: su necesidad de desarrollarse o, si gustáis, su necesidad de progreso. No me refiero a la importancia práctica o social de esta necesidad. Lo que deseo examinar es, más bien, su importancia intelectual. Sostengo que el desarrollo continuo es esencial para el carácter racional y empírico del conocimiento científico, que si la ciencia deja de desarrollarse pierde este carácter. Es la forma de su desarrollo lo que hace a la ciencia racional y empírica; esto es, la forma en que el científico discrimina entre las teorías disponibles y elige la mejor. (1991, p.264)

En oposición a esta perspectiva sobre el progreso científico, Lakatos (1983) afirma que el trabajo del científico no consiste en falsear una teoría, sino en mejorarla o crear una nueva con mayor poder predictivo y explicativo. De esta manera, las teorías no son reemplazables como lo sostiene Popper (1991), sino que se tratan de programas de investigación que pueden considerarse como unos lentes con los que el científico conoce e interpreta al mundo. Para Lakatos (1983) no es posible desechar programas de investigación o actuar como si nunca hubiesen existido; puesto que, estos no son explicaciones absolutas de la realidad y en un futuro las ideas sobre las que se fundamentan pueden servir para crear nuevos programas de investigación o incluso desecharlos.

Así pues, si se percibe a cada programa de investigación como un acercamiento a la verdad sin alcanzarla se está suponiendo de entrada que existe por lo menos un hecho empírico que dicho programa no pueda explicar o predecir; es decir, el programa de investigación nace falseado. De ahí que la falsación no sea un método pertinente para dilucidar dentro de un conjunto de teorías disponibles cuál sea la mejor. Al respecto Lakatos (1983) expone que:

(...) la teoría de la gravitación de Newton, la teoría de la relatividad de Einstein, la mecánica cuántica, el marxismo, el freudismo son todos programas de investigación dotados cada uno de ellos de un cinturón protector flexible, de un núcleo firme característico pertinazmente defendido, y de una elaborada maquinaria para la solución de problemas. Todos ellos, en cualquier etapa de su desarrollo, tienen problemas no solucionados y

anomalías no asimiladas. En este sentido todas las teorías nacen refutadas y mueren refutadas. (p.14)

Según Lakatos (1983), una teoría B supera a otra A cuando puede predecir nuevos hechos empíricos o explicar algunos vacíos conceptuales en las teorías existentes. Para ejemplificar esto, se puede acudir al problema sobre la adición de velocidades. Desde la relatividad de Galileo y Newton si se lanza un rayo de luz dentro de un tren en movimiento, su velocidad resultante tendría que ser la velocidad de la luz más la velocidad del tren. Sin embargo, esto viola las leyes de Maxwell porque contradice la invariabilidad en la velocidad de la luz. Einstein al ver este problema en la mecánica clásica extiende la relatividad del espacio al tiempo y conjuga estas dos variables físicas en el concepto que se conoce como espacio - tiempo. A partir de lo cual redefine las ecuaciones matemáticas que describen las transformaciones de Galileo y Newton para las medidas de velocidad tomadas por dos observadores diferentes. Así Einstein demuestra que sin importar las condiciones de los sistemas físicos la velocidad de la luz siempre se mantiene constante (Einstein e Infeld, 1986).

Con base en lo anterior, podría decirse que desde la perspectiva de Lakatos (1983) el programa de investigación einsteniano es más fuerte que el newtoniano, esto no implica que la mecánica de Newton haya sido falseada o sustituida completamente. En realidad, la física de Newton sigue siendo vigente porque funciona a velocidades pequeñas comparadas con la de la luz, pero la relatividad de Einstein tiene mayor poder porque logra dar una explicación predictiva sobre la naturaleza y comportamiento de la luz.

En síntesis, resulta pertinente afirmar que para Lakatos (1983) los programas de investigación pueden coexistir porque se necesitan varias miradas o perspectivas sobre los hechos empíricos, lo cual no implica caer en un relativismo extremo en el que todos los programas son igualmente buenos. Al contrario, se impondrá el programa de investigación que tenga mayor poder explicativo y predictivo. En este orden de ideas desde los planteamientos de Lakatos (1983), la ciencia es un campo de combate donde triunfará el programa de investigación que otorgue la mejor explicación racional de los hechos empíricos que componen la realidad.

Esta última idea es bastante revolucionaria porque en ella Lakatos (1983) expresa su concepción de la ciencia como una construcción esencialmente colectiva. No obstante, dentro del esquema que construye este autor sobre lo que entiende por explicación racional de la realidad

excluye todo lo que no pertenece al campo de la ciencia; dicho de otro modo, las explicaciones científicas están basadas únicamente en procesos argumentativos, diseños experimentales o cálculos matemáticos. De este modo, Lakatos (1983), deja de lado todo lo relacionado con las influencias de orden social y cultural que hacen parte de los contextos en los cuales se encuentran sumergidos los científicos. Justamente sobre estos aspectos es que Kuhn y Feyerabend se separan de la perspectiva defendida por Lakatos (1983).

Desde los planteamientos de Kuhn (1969) el conocimiento no solo es una construcción colectiva, sino que además está situada en un contexto histórico y cultural. Las influencias sociales de estos contextos en los que se encuentran los científicos hacen que ellos vean el mundo desde un marco diferente, lo cual implica que la construcción del conocimiento científico en últimas está influenciada por las agencias culturales que en determinado momento histórico detentan el poder; por ejemplo, la iglesia, la política, el estado o las empresas. De este modo, el conocimiento científico termina siendo una práctica interesada porque el científico estudiará y verá la realidad desde su visión del mundo, por ello no es cierto que sea posible llegar a una única explicación objetiva de los hechos empíricos, pues la ciencia es una construcción antropológica en la que van a confluír diferentes puntos de vista sobre la realidad. Es por esto que Kuhn en la posdata a la estructura de las revoluciones científicas afirma que: “(...) el conocimiento científico, como el idioma, es, intrínsecamente, la propiedad común de un grupo, o no es nada en absoluto. Para comprender esto necesitaremos conocer las características especiales de los grupos que lo crean y que se valen de él” (Kuhn, 1969, p.319).

En este orden de ideas, para Kuhn (1969) el conocimiento científico se constituye a partir de grupos cuyos miembros comparten entre sí una serie de costumbres, técnicas, comportamientos y cosmovisiones del mundo. Estos grupos se encargan de construir las teorías científicas, aquel que logre constituir la teoría que tenga el mayor poder explicativo y predictivo será el que imponga la explicación de la realidad y configure así un paradigma. De esta manera, el paradigma para Kuhn (1969) serían los lentes con los que se interpretará la realidad natural durante un tiempo determinado; en otras palabras, los científicos pertenecientes al paradigma se dedicarán a formar adeptos, a mejorar sus técnicas y a matematizar la mayor cantidad de fenómenos físicos con base en su esquema teórico. A este periodo se le denomina ciencia normal porque el mundo parece empezar a comprenderse desde un único punto de vista, como si de algún modo el paradigma

impusiera lo que se puede y no se puede conocer. Sin embargo, cuando se encuentran hechos empíricos que no se consiguen explicar a partir del paradigma vigente empieza de nuevo una batalla entre los grupos de científicos para ver quién de ellos puede construir la teoría que sea capaz de incorporar los nuevos hechos en su marco de predicción y explicación, en este proceso se gesta lo que Kuhn llama como revolución científica la cual puede definirse como la sustitución de un paradigma por otro nuevo (Kuhn, 1969).

Feyerabend (1986) al igual que Kuhn (1969) expone que el conocimiento científico es una construcción colectiva en la que la idiosincrasia de los científicos permea las teorías científicas que estos proponen. Sin embargo, para Feyerabend (1986) las dinámicas socioculturales no son componentes externos a la ciencia; en otros términos, las teorías científicas no necesariamente tienen su génesis en ideas que atienden a los cánones de científicidad vigentes en determinado contexto histórico. A este respecto Feyerabend (1986) comenta que:

Resulta claro, pues, que la idea de un método fijo, o la idea de una teoría fija de la racionalidad, descansa sobre una concepción excesivamente ingenua del hombre y de su contorno social. A quienes consideren el rico material que proporciona la historia, y no intenten empobrecerse para dar satisfacción a sus más bajos instintos y a su deseo de seguridad intelectual con el pretexto de claridad, precisión, 'objetividad', 'verdad', a esas personas les parecerá que sólo hay un principio que puede defenderse bajo cualquier circunstancia y en todas las etapas del desarrollo humano. Me refiero al principio todo sirve. (p.12)

Un ejemplo de esto pueden ser los trabajos de Newton sobre el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Este científico propone que el Sol puede generar fuerzas que actúan a distancia sobre los cuerpos celestes cercanos a él, como este posee más masa que ellos les puede otorgar una órbita a su alrededor. Newton comenta que las fuerzas creadas por el Sol tienen un sentido matemático, pero no físico porque él no comprende cuál es la naturaleza o el origen de las fuerzas. No obstante, en sus cartas al sacerdote Richard Bentley deja claro que debe existir algo que opere en los cuerpos para otorgarles la capacidad de generar fuerzas, ese algo Newton lo asemeja a una Deidad. Así, la causa de la gravitación desde la mirada de este científico tiene orígenes teológicos.

Esto no es gratuito pues en la Inglaterra de 1600 la iglesia era una identidad cultural con una fuerte influencia social (Henry, 2006).

De esta manera, para Feyerabend el conocimiento científico es en esencia un conocimiento social, colectivo y situado en un contexto cultural. Esto implica que las ideas científicas tienen sus raíces en los conocimientos que cada sociedad considere importantes en determinado contexto histórico ya sea la magia, el mito, el arte, la teología o la ciencia misma. Bajo esta forma de concebir al conocimiento científico es que Feyerabend fundamenta su lema del *todo sirve*. Con esto no quiere decir que cualquier idea sirva para construir una teoría, ni que la ciencia no necesita de rigurosidad, más bien pretende ilustrar que el conocimiento científico no es más que otro rasgo de la cultura, por ello ningún conocimiento es menos importante que la ciencia (Feyerabend, 1986).

Ahora bien, respecto al progreso científico Feyerabend (1986) comenta que este no consiste en la falsación de una teoría, en la sustitución de un aparato teórico por otro con mayor poder predictivo y explicativo o en el cambio de paradigma mediante una revolución científica. Este epistemólogo aboga para que el trabajo científico no sea reducido a encontrar una teoría última de la realidad; dicho de otra manera, los científicos no deben centrar sus energías en estudiar una única teoría como en los periodos de ciencia normal propuestos por Kuhn (1969). Al contrario, Feyerabend propone que las teorías científicas se deben estudiar mediante un proceso denominado contra inducción, el cual consiste en plantear hipótesis que no estén de acuerdo con el programa de investigación o el paradigma vigente. Esta sería para Feyerabend (1986) la única manera de encontrar si existen construcciones teóricas más sencillas que permitan explicar de mejor manera los hechos empíricos hasta ahora conocidos e incluso predecir unos nuevos. En este orden de ideas, para Feyerabend (1986) entre más teorías convivan en un mismo momento histórico se tiene más posibilidad de construir nuevas hipótesis a partir de los razonamientos contra inductivos y así ir mejorando continuamente las teorías disponibles.

Por consiguiente, no es cierto que la imposición de una única teoría implica que se comprenda mejor la ciencia o que se esté más cerca de encontrar la verdad. Realmente la verdad absoluta es una ilusión, sólo se puede avanzar en la ciencia si no se olvida el pasado de ella y si se comprende que el conocimiento es un océano donde claramente la proliferación de teorías que se apoyen o contradigan entre sí lo alimentan. En esta misma línea Feyerabend (1986) expone que:

(...) Concebido de esta forma, el conocimiento no consiste en una serie de teorías auto consistentes que tiende a converger en una perspectiva ideal; no consiste en un acercamiento gradual hacia la verdad. Por el contrario, el conocimiento es un océano, siempre en aumento, de alternativas incompatibles entre sí (y tal vez inconmensurables); toda teoría particular, todo cuento de hadas, todo mito, forman parte del conjunto que obliga al resto a una articulación mayor, y todos ellos contribuyen, por medio de este proceso competitivo, al desarrollo de nuestro conocimiento. No hay nada establecido para siempre, ningún punto de vista puede quedar omitido en una explicación comprensiva (p. 32).

En síntesis, es posible afirmar que Popper (1980,1991), Lakatos (1983), Kuhn (1969) y Feyerabend (1986) conciben la experiencia como un medio para transformar los estatutos teóricos vigentes, esta tarea requiere innovación, pensamiento crítico, creatividad, argumentación, retórica y curiosidad. Adicionalmente, es claro que Lakatos (1983), Kuhn (1969) y Feyerabend (1986) son los autores que más destacan el carácter social y colectivo del conocimiento científico. No obstante, es Feyerabend (1986) quien lo sitúa como una práctica cultural que toma para sí cualquier tipo de conocimiento, pues la génesis de las ideas científicas tiene un vínculo con los conocimientos sociales aceptados en determinado contexto histórico y social.

A partir de todo lo mencionado anteriormente, en este trabajo de investigación, se comprenderá al conocimiento científico como una práctica situada, azarosa, interesada, colectiva y compuesta por diferentes visiones del mundo. En donde el debate de ideas con base en procesos experimentales guía la toma de decisiones. Es decir, no hay quien pueda imponer a la fuerza una teoría. Hacer ciencia sería un proceso mediante el cual diferentes colectivos de personas hacen esfuerzos por convencerse entre sí sobre la legitimidad de sus procesos experimentales, razonamientos, explicaciones y conclusiones. De esta manera, el conocimiento científico se convierte en un proceso discursivo que, lejos de buscar una verdad absoluta, invita a aquellos que los estudian a tomarse la palabra para sí y expresar sus pensamientos con tranquilidad, al tiempo que reconoce en sus interlocutores fuentes de conocimiento que le permiten construir una mejor perspectiva sobre la realidad.

La Práctica Científica desde una perspectiva Sociocultural

Con base en lo planteado hasta este momento, es posible afirmar que, la ciencia es una construcción colectiva cuya base se encuentra en la organización de comunidades científicas alrededor de un paradigma (Kuhn, 1969) o programa de investigación (Lakatos, 1983). Por ende, una de las características inherentes a la ciencia es la existencia de diferentes comunidades científicas que intentan construir las teorías más pertinentes para lograr dar solución a los problemas científicos más relevantes en determinada época. En los momentos donde la ciencia entra en crisis o se gesta un proceso de transformación de las teorías dominantes usualmente se forma una batalla entre dichas comunidades la cual consta de dos campos: el científico y el cultural, aparentemente separados, pero que son complementarios si se concibe a la ciencia como una actividad humana que se encuentra influenciada por las dinámicas sociales de los contextos históricos donde se desarrolla. En este orden de ideas, para fundamentar la práctica científica desde una perspectiva sociocultural se hace necesario discutir teóricamente sobre dos aspectos: el perspectivismo como una característica inherente a la construcción de conocimiento científico y la ciencia como una actividad humana.

El perspectivismo como característica inherente a la construcción del conocimiento científico

El concepto de verdad en la ciencia es polisémico porque se ha ido transformando poco a poco a lo largo de la historia. Para los positivistas la finalidad de la ciencia era encontrar una metodología aplicable a toda investigación científica cuya construcción y validación estuviera cimentada en la aplicación sistemática de un método científico. De esta manera, parecía que la ciencia podría llegar a un fin, donde la mayoría de los problemas científicos tuviesen una solución lo suficientemente objetiva como para borrar todo rasgo de duda en relación con su posible provisionalidad. Bajo esta lógica, la naturaleza aparenta ser independiente de quien la estudia o mejor dicho las explicaciones científicas que se construyen en las diversas zonas del planeta van a tender siempre hacia una supuesta verdadera explicación que yace oculta en la naturaleza (Velilla, 2018).

Para las investigaciones más recientes en sociología de la ciencia esta visión es bastante ingenua porque muestra a la práctica científica como una actividad desinteresada que anula la subjetividad y la idiosincrasia del científico (Solís, 1994). El acervo cultural del sujeto no se puede

desligar de su forma de ver el mundo, como se verá más adelante en el caso de Newton que usa sus creencias religiosas para brindar explicaciones sobre la causa de la gravitación. Así mismo, no se puede desligar la ciencia de los contextos socioculturales donde se desarrolla, tal como muestran Acevedo y García (2017) cuando ilustran las influencias económicas y políticas que estuvieron presentes en la controversia de Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea. Negar el carácter sociocultural de la práctica científica implica quedarse en una visión de ciencia que se resiste a transformarse alegando tener en sus manos una verdad ficticia, a partir de la cual pretende negar la incertidumbre que es inherente a una actividad construida por seres humanos. En una línea similar, Fleck (1986) argumenta que:

(...) Cualquier teoría del conocimiento que no tenga en cuenta, como principio general y concreto, esta condicionalidad sociológica de todo conocimiento es una trivialidad. Pero la que considere la condicionalidad social como un *malum necessarium*, la que lo tome como una insuficiencia humana desgraciadamente existente a la que es un deber combatir, desconoce que, sin la condicionalidad social, no es posible ningún conocer en absoluto, ya que la palabra <<conocer>> sólo tiene un significado en relación con un colectivo de pensamiento (p.90).

Según los planteamientos de Fleck (1986), la ciencia se construye a través de colectivos de pensamiento, los cuales se encuentran conformados por científicos quienes comparten un mismo estilo de pensamiento o conjunto de explicaciones sobre los hechos científicos que estudian. De esta manera, a los científicos no les interesa necesariamente construir una teoría del todo sino más bien buscan que su colectivo de pensamiento sea el que imponga la explicación científica más relevante. Si este no es el caso, los científicos tratan de mantenerse de forma activa en el debate público con miembros de otros colectivos de pensamiento con el objetivo de ir modificando su estilo de pensamiento para adecuarse a los nuevos conocimientos y tendencias de investigación.

Para Fleck (1986) el proceso para transformar los estilos de pensamiento vigentes se da tanto de manera interna como externa a los colectivos de pensamiento. Internamente en sus grupos de investigación los científicos discuten la pertinencia de sus teorías y construyen argumentos sólidos para defenderlas, mientras que, externamente los científicos dialogan con miembros de otros colectivos de pensamiento o con público no científico, buscando reconocimiento social que

les permita por un lado divulgar las teorías que han construido y por otro conseguir posibles financiadores para sus investigaciones. Es en este proceso de comunicarse con público diferente a sus colegas del mismo colectivo de pensamiento que los científicos modifican su estilo de pensamiento y empieza la transformación de las teorías construidas previamente. De este modo, la ciencia está abierta al cambio y la incertidumbre, la práctica científica se trata de construir teorías que tienen validez provisional porque el fin de la ciencia no es la verdad, sino la construcción colectiva de explicaciones que se van transformando por medio del diálogo entre varias perspectivas representadas por diferentes colectivos de pensamiento. De lo anterior, se desprende que el perspectivismo entendido como la confrontación de teorías y diferentes visiones del mundo sea una característica inherente a la construcción del conocimiento científico (Fleck, 1986; Arnold y Rodríguez, 1990).

Bajo este orden de ideas, como aportes del perspectivismo para la enseñanza de las ciencias Mathews (1994,2012), Pearce (2013) y Romero (2013a) destacan que:

- El perspectivismo puede ayudar a que los estudiantes desarrollen una mirada más amplia y completa sobre los fenómenos físicos al asumir una postura crítica frente a las diferentes perspectivas teóricas.
- El perspectivismo fomenta la creatividad en los estudiantes al alentar la construcción de explicaciones más allá de los límites de una sola perspectiva, estimulando así diversas formas de entender los fenómenos físicos.
- El perspectivismo posibilita la creación de espacios en la clase de ciencias donde los estudiantes, a través de experiencias físicas o mentales, exploren los fenómenos físicos y construyan sus propias explicaciones, abandonando el rol pasivo tradicional frente al conocimiento científico.
- El perspectivismo permite que los estudiantes conciban la práctica científica como un escenario para convencer y ser convencidos por otros, desarrollando así la habilidad de escuchar respetuosamente a quienes piensan diferente.
- El perspectivismo ayuda a los estudiantes a comprender la provisionalidad de las explicaciones científicas, destacando que estas pueden cambiar y ser sustituidas por otras que convenzan a la mayoría de la comunidad científica. Esto muestra a los estudiantes que

la incertidumbre es inherente a la práctica científica, desmitificando el supuesto carácter objetivo del conocimiento científico.

El trabajo científico como una actividad humana

En armonía con lo anterior, la ciencia es un esfuerzo humano proyectado a interpretar y comprender los fenómenos de la naturaleza. No obstante, aquí el término naturaleza cobra un significado diferente al tradicional, la naturaleza no es algo que habite de forma externa a los sujetos, por el contrario, es una construcción social. De esta manera, no existe algo así como una naturaleza universal ni una verdad científica oculta tras ella. Esto implica que existen tantas naturalezas como culturas, aplicado a la ciencia se podría decir que existen tantas interpretaciones de los fenómenos naturales como colectivos de pensamiento (Fleck, 1986), paradigmas (Kuhn, 1969) o programas de investigación (Lakatos, 1983). En este sentido, la naturaleza como hecho sociológico se construye a partir de acuerdos entre los diferentes colectivos de pensamiento. De ahí que la tarea del científico consista en construir las mejores explicaciones posibles para defender la postura de su colectivo de pensamiento y así ganarse un espacio en la comunidad científica. Este proceso de construir explicaciones no es lineal, tiene tropiezos, no consiste en construir verdades absolutas ni infalibles. Se trata de mejorar constantemente las explicaciones y la forma en cómo se comunican con la intención de que convezan tanto a personas internas como externas a su colectivo de pensamiento (Fleck, 1986).

Bajo estos lineamientos, la práctica científica es una actividad llena de incertidumbres en la que equivocarse es más normal de lo que tradicionalmente se piensa. Un ejemplo de esto puede observarse en el trabajo de Boyle en la construcción y mejoramiento de la bomba del vacío. Según Shapin (1995) Boyle construyó varios modelos de este artefacto con la intención de demostrar la existencia del vacío y así poder medir la presión del aire. Con su perspectiva sobre el vacío Boyle contradecía a grandes personajes como Aristóteles y Descartes, por ello tuvo muchas críticas y adversarios, a pesar de esto Boyle buscaba convencer a sus críticos transformando para ello sus explicaciones y mejorando la forma en cómo las exponía a sus contradictores, creando para ello una metodología dividida en lo que Shapin (1995) llamó tres tecnologías, a saber: tecnología

material, literaria y social cuyo principal objetivo era convencer a los espectadores de sus planteamientos sobre la existencia del vacío.

La metodología consistía en que los diferentes diseños de la bomba de vacío se iban a presentar de forma pública con el fin de exponer a los interesados la manera en cómo se iba mejorando la máquina con la que se pensaba medir la presión del aire. Cada prototipo de esta máquina tenía un protocolo o informe detallado de su construcción destacando las posibles falencias y problemas que habían tenido en este proceso, con esto Boyle quería mostrar que el trabajo científico además de riguroso debía ser ético. Para las presentaciones en público Boyle llevaba estos informes con la intención de repartirlos entre los testigos de sus experimentos, por ello este científico hacía grandes esfuerzos para convencer a sus espectadores sobre la veracidad de los hechos que producía y exhibía con su máquina, si conseguía esto probablemente sus testigos podrían compartir los informes de sus experimentos con algunos colegas, lo que le permitía finalmente ganar también testigos virtuales, aquellos que creen en la validez de sus procesos experimentales sin necesidad de tener que verlos presencialmente. De este modo, Boyle comprendía que construir conocimientos científicos conllevaba a la exigencia de ser éticos, tolerantes y respetuosos con quien piensa diferente.

Adicionalmente, Boyle exhibe la importancia de la experimentación en la construcción de los conocimientos científicos, de hecho, retrata la experiencia o más bien el experimento como el escenario propicio para convencer y dejarse convencer por el otro. Pero más allá de eso, Boyle muestra que el proceso para construir conocimientos científicos es difícil, no tiene una linealidad, ni un orden establecido, se trata de considerar constantemente los modos de proceder y cambiarlos si es necesario, de igual forma sucede con las explicaciones, estas son provisionales e intercambiables, el supuesto marco de objetividad se difumina porque es una actividad realizada por humanos que deben convencer a otros humanos con miradas completamente diferentes, este proceso de convencimiento termina siendo una negociación, por ende las explicaciones científicas que se acuerdan, en caso de que sea posible construir un consenso, no terminan siendo iguales a las que se habían construido originalmente (Romero, 2013a).

Es relevante destacar que, al plantear lo anterior, no se busca desestimar la importancia del rigor y la seriedad metodológica en la construcción del conocimiento científico. Más bien, se pretende resaltar que, a pesar de todos los esfuerzos por establecer procedimientos rigurosos, la

investigación científica sigue siendo una práctica humana. En este sentido, es fundamental reconocer que el trabajo científico no está inmune a posibles *errores*, ya que no existen caminos absolutamente infalibles en el intento de comprender un mundo natural que requiere ser construido y validado de forma colectiva.

Planteamientos como el anterior, conlleva a reflexionar en el ámbito educativo, acerca de la importancia que tiene el reconocimiento del *error* como una oportunidad que, tradicionalmente se les niega a los estudiantes en la escuela. Comprender el error como el paso previo a una mejor comprensión del mundo natural, implica generar espacios en el aula para que los estudiantes puedan auto percibirse como sujetos de y con conocimientos, es decir, para que ellos sean los dueños de sus propias trayectorias de aprendizaje. En este sentido, resaltar a la ciencia como una actividad humana permite que los estudiantes confíen en sí mismos; en lo que son capaces de hacer, plantear y experimentar con ayuda de su maestro y sus compañeros. Se trata de hacerles ver su capacidad intelectual para leer e interpretar el mundo; y así poder invitarlos a construir conjuntamente los conocimientos científicos a partir de problemas, controversias históricas, cuestionamientos y actividades experimentales (Romero, 2013b).

Experimentación Cualitativa Exploratoria

A raíz de lo expuesto anteriormente con relación a los estudios de Shapin (1995) sobre la metodología implementada por Boyle para la construcción de los conocimientos científicos, se concluyó que la actividad experimental emerge como un aspecto crucial de este proceso, es a través de ella que se construyen diferentes modelos explicativos de los fenómenos físicos que se buscan comprender. En este sentido, la experimentación resulta como un espacio propicio para debatir con otros puntos vista y modos de proceder diferentes al propio, lo que implica que quien haga ciencia debe estar dispuesto a tres cosas: construir, defender y validar colectivamente sus modelos explicativos.

De esta manera, experimentar no solamente consiste en construir un aparato de medición o interpretar determinado fenómeno; estos procesos, aunque son vitales en la construcción de los conocimientos, no agotan la actividad de experimentar. En última instancia, experimentar implica la construcción modelos explicativos provisionales sobre hechos que no son deterministas, sino

que necesitan de un acuerdo o, al menos, de un diálogo acerca de lo que es posible evidenciar en las experiencias. Es decir, a través de la experimentación, lo que se busca es hacer comprensible y transformable un mundo que es construido y validado colectivamente por los sujetos que lo habitan (García, 2011; Romero, 2013a).

En vista del rol fundamental que cumple la experimentación en la ciencia y su enseñanza se precisa entonces definir qué perspectiva de experimentación se privilegia en este trabajo, al mismo tiempo que se destacan algunas implicaciones de esta visión en la enseñanza de las ciencias relacionadas con el por qué y el para qué realizar actividades experimentales en las clases de física.

Tradicionalmente en los debates sobre el rol de la experimentación en la construcción de los conocimientos científicos se ha privilegiado la perspectiva heredada de la filosofía de la ciencia, la cual sostiene que la empresa científica es un sistema de fuerzas lógico-lingüístico en cuyas fronteras se ubica la experiencia (Ferreiros y Ordoñez, 2002). En otras palabras, desde la perspectiva heredada la experimentación es meramente un recurso para comprobar la validez de una teoría. Esto puede ejemplificarse a través de Karl Popper y Rudolf Carnap, el primero proponía una ciencia de carácter deductiva y el otro de carácter inductiva, ambos trivializan el experimento a un mero verificador de hechos que les daban o les quitaban generalidad a las teorías (Iglesias, 2004).

No obstante, en las últimas décadas se ha venido consolidando una nueva perspectiva denominada filosofía de las prácticas experimentales, la cual propone no minimizar ninguna de las dos dimensiones del conocimiento científico, dicho de mejor modo, la teoría y la experiencia se encuentran en igual orden de importancia.

Con base en algunos episodios históricos sobre el estudio de la electrodinámica Steinle (2003) logra ejemplificar esto, mostrando que el estudio de la relación entre la electricidad y el magnetismo no emergió necesariamente como consecuencia de las teorías aceptadas en aquella época, al contrario para estas tal relación era casi imposible; fue entonces Oersted quien explorando con brújulas, baterías y cables conductores pudo evidenciar una relación particular: la corriente en movimiento genera interacciones magnéticas. Con un estudio más cuidadoso de este experimento Faraday y Maxwell concluyeron que el efecto magnético inducido por la circulación de corriente llegaba a los materiales magnetizados formando cierto tipo de círculos, lo cual implicaba reestructurar la teoría laplaciano-newtoniana de fuerzas a distancia que había hasta ese momento.

Léase bien, reestructurar y no eliminar, pues la teoría vigente sirvió de base para construir la teoría de campos. Esto muestra que la experimentación complementa a la teoría, en tanto abre nuevos espacios para su reestructuración, a su vez la nueva teoría empieza a guiar la experimentación pues la idea sería estudiar su generalidad al enfrentarla con nuevas situaciones físicas.

En este caso de la electrodinámica, se puede evidenciar que la teoría vigente fue puesta en crisis a través de un proceso experimental con características especiales. En primer lugar, se destaca la simplicidad del montaje experimental realizado por Oersted. En segundo lugar, la acción de este científico no obedecía a una serie de pasos preestablecidos ni pretendía verificar o contradecir una teoría; simplemente, fue una experiencia curiosa que emergió de explorar la interacción entre cables conductores, imanes y brújulas. Este tipo de procesos experimentales son denominados por Ferreyros y Ordoñez (2002) como cualitativos exploratorios. Son cualitativos en el sentido de que no se hace énfasis en la construcción de escalas de medida, y exploratorios porque no siguen una serie de pasos predefinidos por cierto marco teórico.

La experimentación cualitativa exploratoria cobra una relevancia importante en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva sociocultural. Bajo esta mirada, se busca superar la enseñanza basada en contenidos para trasladarse a otra centrada en los procesos. El énfasis recae en que los estudiantes se enfrenten a preguntas similares a las que se hicieron los científicos en la construcción de sus teorías. Esto implica necesariamente contextualizar, en las propuestas de enseñanza, una actividad experimental que posibilite al estudiante tomar las riendas de su aprendizaje. Así, pueden construir sus propias explicaciones y mejorarlas al debatir con sus demás compañeros. De este modo, si lo que se quiere en las clases de física es construir una ciencia escolar, la experimentación cualitativa exploratoria emerge como un camino factible para ello, dado que desde los planteamientos de Ferreyros y Ordoñez (2002):

(...) La experimentación exploratoria se encuentra principalmente en las primeras fases de desarrollo de una ciencia, cuando se está muy lejos de conceptos y principios teóricos bien desarrollados y adecuados. Pero esto no quiere decir que semejante experimentación sea poco importante desde el punto de vista epistemológico: antes lo contrario. (p.64)

Es por esta razón que la experimentación cualitativa exploratoria emerge como una buena alternativa para dirigir la enseñanza de la gravitación. En la época de Descartes, Newton y Euler,

cuando se dedicaban a la filosofía natural, el trabajo científico era principalmente exploratorio. Las explicaciones construidas en aquel entonces sobre este fenómeno surgían de hipótesis físicas o metafísicas que los científicos desarrollaban dependiendo de su perspectiva o sus creencias personales sobre el mundo físico. Este aspecto se profundizará más adelante a través del estudio histórico-crítico construido sobre el fenómeno de la gravitación.

La experimentación cualitativa exploratoria como un medio para construir y defender explicaciones científicas

Antes se ha dicho que resulta importante el enfoque de la experimentación cualitativa exploratoria para la enseñanza de las ciencias destacando que su énfasis permite al estudiante tomar las riendas de su propio aprendizaje porque está siendo llamado constantemente a construir explicaciones con base en sus experiencias al tiempo que las transforma al entrar en debate con sus demás compañeros. Resulta entonces clave fundamentar teóricamente lo que se está entendiendo en esta investigación respecto a la construcción de explicaciones científicas.

Romero (2013a) apoyado en Latour (1991) expone que para comprender a la ciencia desde una perspectiva sociocultural se hace necesario entender los conocimientos científicos como un producto de dos aspectos que conviven al mismo tiempo: naturaleza y sociedad. Es decir, los conocimientos científicos son de carácter híbrido en tanto que derivan de una naturaleza construida socialmente. Esta concepción también se hace evidente en el trabajo de Shapin (1995) donde este autor con base en los trabajos de Boyle sobre la existencia del vacío, les otorga a los hechos científicos una categoría tanto epistemológica como sociológica; epistemológica en el sentido en que construir un hecho científico exige una carga teórica y experimental sólida, sociológica porque como lo evidencia Boyle más allá de construir la bomba de vacío su trabajo consistió en convencer a los otros a cerca de la veracidad de los resultados experimentales que podría obtener con ella. De este modo, puede decirse que construir explicaciones consiste en: por un lado, diseñar modelos interpretativos para intentar comprender las regularidades de un mundo social no determinista y por el otro, validar colectivamente dichos modelos interpretativos al entablar un diálogo crítico con los otros sujetos que poseen modelos interpretativos diferentes al propio (García, 2011).

En consecuencia, la experimentación y específicamente la construcción de explicaciones son actividades que involucran las subjetividades de los sujetos, en tanto que no es posible separar la idiosincrasia y el acervo cultural de quienes proponen los modelos explicativos. Esto implica que si se quiere enseñar ciencias desde una perspectiva sociocultural sea necesario mostrar a los estudiantes que el trabajo de los científicos está relacionado con sus creencias personales, sus visiones de mundo y su idiosincrasia. Desde la perspectiva de García (2011):

(...) la riqueza conceptual que no se ha considerado en la experimentación, al mantener el papel subsidiario, se hace ahora significativa. Las problemáticas, dificultades, necesidades e intereses de los científicos se hacen relevantes, en tanto que permite considerar los aspectos del mundo que están en juego: las problemáticas sociales e ideológicas, los conflictos entre teorías o visiones de mundo y el sentido mismo de los experimentos cruciales. (p.95)

Bajo esta mirada antropológica de la ciencia Latour y Woolgar (1995) hacen un análisis etnográfico sobre el trabajo de los científicos en el laboratorio con la intención de estudiar la forma cómo se construyen, defienden y cambian las explicaciones que ellos dan sobre los fenómenos estudiados. En su investigación destacan que el laboratorio no es más que otro lugar de interacción social donde confluyen diferentes personas para tratar de construir explicaciones acerca de los fenómenos estudiados. Dicha connotación que recibe el laboratorio de un lugar propicio para la interacción social implica que la tarea del científico experimental no se agota en la construcción de explicaciones, además de esto debe estar dispuesto a defenderlas constantemente y si es el caso cambiarlas a través de un acuerdo que logre equilibrar sus postulados y los de sus interlocutores.

Entre todas las contribuciones que se destacan del estudio de Latour y Woolgar (1995) sobre el trabajo de laboratorio hay dos que resultan claves para los fines de esta investigación, tomadas como bases para pensar la enseñanza de las ciencias.

En primer lugar, es de vital importancia destacar que estos autores ampliaron la concepción clásica del laboratorio como un lugar apartado de la sociedad, restringido únicamente a los científicos. A partir de este estudio antropológico sobre el trabajo científico, el laboratorio se comienza a entender como todo espacio en el que confluyen distintos sujetos con la intención de construir modelos explicativos acerca de las regularidades del mundo social en el que habitan.

A partir de lo anterior, se desprende la viabilidad de crear una ciencia escolar, ya que la escuela, concebida como un sitio destinado a la interacción social, se transforma en un laboratorio o, mejor dicho, en un espacio para experimentar la vida desde todas sus dimensiones.

En segundo lugar, los autores construyen una clasificación de los enunciados o explicaciones científicas que emergen de los procesos experimentales realizados en el laboratorio. Según esta clasificación las explicaciones científicas se dividen en cinco tipos que se organizan de menor a mayor en dependencia a su grado de facticidad. Las explicaciones tipo I son aquellos enunciados que forman conjeturas o especulaciones sobre determinado fenómeno físico, mientras que, las explicaciones tipo V son aquellas que por haber sido comprobadas por una gran cantidad de científicos se convierten en aseveraciones consideradas como verdaderas.

La clasificación realizada por Latour y Woolgar (1995) sobre las explicaciones científicas aparece de forma más detallada en la siguiente imagen:

Figura 2

Clasificación de las explicaciones científicas o los enunciados construidos por los científicos en su trabajo de laboratorio

Enunciados tipo V	Correspondientes a un "hecho" dado por sentado. Aseveraciones que no se discuten y que se consideran "verdades"
Enunciados tipo IV	Enunciados con alto grado de facticidad. Son los que usualmente van a los libros-texto
Enunciados tipo III	Enunciados que hacen alusión a otros enunciados y se identifican por el uso de modales
Enunciados tipo II	Enunciados que contienen modalidades que centran su atención en la generalidad de la evidencia
Enunciados tipo I	Comprenden conjeturas o especulaciones, que aparecen de forma más común al final de los artículos

Nota. Esta es la clasificación que realiza Latour y Woolgar (1995) sobre los enunciados que construyen los científicos como producto de su trabajo en el laboratorio. Fuente: Romero (2013a).

Usualmente la enseñanza de las ciencias en entornos escolares se centra en la asimilación de los enunciados o explicaciones científicas tipo IV y V, por ello no es sorprendente que los

estudiantes conciban a los conocimientos científicos como el producto de una disciplina bastante apartada de sus experiencias, sus propias creencias y su vida. Para poder transformar esto se hace entonces indispensable contextualizar en la escuela un tipo de ciencia que otorgue la libertad a los estudiantes de construir sus propias explicaciones (enunciados tipo I, II o III) a partir de actividades experimentales, las cuales permitan al estudiante establecer un diálogo crítico con las perspectivas de algunos científicos. Así la experimentación se establece “como una forma genuina de organizar fenómenos, donde el estudiante puede asumir un papel más activo en la construcción de explicaciones que le permitan hacer comprensible y transformable el mundo que le rodea” (García, 2011, p. 95).

La validación colectiva de las explicaciones científicas como una estrategia para desarrollar la flexibilidad de pensamiento

El aprendizaje de las ciencias no consiste en un proceso lineal en el que las ideas previas de los estudiantes son sustituidas por otras que se encuentran validadas por determinada comunidad científica. Enseñar ciencias, más que un asunto de trasmisión se trata de generar las condiciones para que los estudiantes construyan explicaciones, estableciendo un vínculo entre sus conocimientos previos y los procesos experimentales que se contextualizan en las clases de ciencias. En palabras de Arcá et al. (1990) “El problema educativo es mucho más amplio que el de señalar caminos seguros, o dar contenidos técnicos específicos y no obstante necesarios: es, sobre todo, el de ayudar a niños, jóvenes y adultos a encontrar unas estrategias de colonización cognitiva” (p.24).

Para estos autores la experiencia se configura como ese primer momento en el que los estudiantes intentan construir modelos explicativos sobre un mundo social que ellos observan desde sus conocimientos previos. Luego a través del lenguaje los estudiantes por un lado comunican sus modelos explicativos, y por el otro escuchan los modelos explicativos contruidos por los demás, tras este proceso los estudiantes deben decidir si quedarse con los modelos explicativos que construyeron inicialmente o si modificarlos estableciendo un equilibrio entre sus planteamientos iniciales y los modelos explicativos que expusieron sus compañeros. Finalmente, el resultado de la experiencia y el lenguaje se configura como el conocimiento puesto que es el

momento en el que los estudiantes ya han construido un modelo explicativo y lo han sometido a la consideración de sus compañeros.

Sin embargo, el proceso de aprendizaje no culmina en este punto; ahora, el nuevo conocimiento se incorpora a las ideas previas que los estudiantes utilizarán para intentar explicar nuevas experiencias. De esta manera, el aprendizaje de la ciencia se configura en una tríada de carácter cíclica cuyos componentes son: la experiencia, el lenguaje y el conocimiento. En consecuencia, aprender ciencias consiste en un proceso de ir y volver sobre lo construido, lo cual exige a los estudiantes estar transformando de forma constante sus perspectivas sobre los fenómenos que estudian en sus clases, agudizando así su capacidad de análisis. Esto permite a los estudiantes lograr una colonización cognitiva, es decir, desarrollar autonomía en sus procesos de aprendizaje (Arcá et al., 1990).

El proceso de ir y volver constantemente sobre lo aprendido es algo natural al trabajo científico, como se ha dicho a lo largo de este marco teórico las explicaciones científicas son de carácter provisional y mutable. Por ende, los científicos siempre deben estar dispuestos a transformar sus perspectivas, exigiendo para ello buenas razones; entendiendo por estas últimas como un compendio de explicaciones, justificaciones y evidencias fundamentadas en procesos experimentales y teorías rigurosas. Toulmin (2003) a esta habilidad de tener apertura para escuchar y entender las ideas de los demás le atribuye el nombre de razonabilidad, la cual desde la interpretación de Restrepo et al. (2013) puede definirse como “(...) aquella disposición a examinar y modificar puntos de vista y perspectivas explicativas a través de la búsqueda, construcción y explicitación de argumentos y procesos argumentativos que atiendan a evidencias, garantías y justificaciones adecuadas” (p.134). Más allá de un científico razonable esta habilidad caracteriza a una persona que tiene disposición al cambio y a considerar diferentes soluciones para los problemas que intenta resolver, dicho de una mejor manera, la razonabilidad es característico de alguien que posee flexibilidad en sus formas de pensar (Restrepo et al., 2013).

Ahora bien, en el terreno del aprendizaje de las ciencias no existen una serie de criterios a partir de los cuales se pueda evaluar si un estudiante desarrolla su flexibilidad intelectual, no obstante, se encuentra que esta habilidad coincide con algunos estándares construidos por Paul y Elder (2005) sobre el pensamiento crítico, específicamente, con los denominados: humildad y

empatía intelectuales. Las descripciones de ambos estándares y sus indicadores de evaluación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1

Habilidades o estándares de pensamiento crítico relacionados con la flexibilidad de pensamiento

Habilidad o Estándar	Descripción	Indicadores
Humildad Intelectual	“La mente no tiene predisposición para la humildad intelectual; más bien, en cualquier momento su estado natural, es creer que posee la verdad, pensar que sabe más de lo que en realidad sabe” (Paul y Elder, 2005, p.29).	Los estudiantes descubren sus propias creencias falsas, ideas equivocadas, prejuicios, ilusiones y mitos.
		Los estudiantes admiten sus errores y modifican sus puntos de vista (al enfrentarse con buenas razones para hacerlo).
Empatía intelectual	“La empatía intelectual es el reconocimiento de la necesidad de ubicarse con la imaginación en el lugar de otros, para comprenderlos genuinamente. (...) la empatía intelectual requiere práctica para poder pensar desde el punto de vista de los demás; especialmente, de aquellos con los que estamos en desacuerdo” (Paul y Elder, 2005, p. 31 - 32).	Con la imaginación, los estudiantes se colocan en el lugar de otros (esforzándose por expresar con precisión los puntos de vista de estos).
		Con regularidad, los estudiantes asumen el rol de defender creencias que no son las propias y lo hacen de manera inteligente e informativa.

Nota. Tomado de Paul y Elder (2005).

Resulta importante destacar que el énfasis de esta investigación no es evaluar el pensamiento crítico en los estudiantes, sino más bien su flexibilidad de pensamiento. Por ello, al identificar ciertas similitudes entre esta habilidad y algunos estándares del pensamiento crítico, se optó por evaluarla tomando dichos estándares como referencia.

Contribuciones de los Análisis Histórico-Críticos para la Enseñanza de la Física

Hasta el momento se ha dicho que la ciencia es una actividad humana, social y cultural. Comprenderla de este modo implica tener en cuenta que los conocimientos científicos no han emergido de la nada. Es decir, conocer a la ciencia, y en particular, la física, implica acercarse a su historia, no con la intención de reconstruirla a modo de una colección curiosa de datos para introducir los conceptos, sino con el objetivo de entrar en un diálogo crítico con quienes en determinado momento histórico construyeron explicaciones sobre los fenómenos que se pretenden abordar en las clases de física. Este diálogo con las obras originales de los científicos no se hace para intentar develar lo que ellos querían decir en sus obras, como si la verdad estuviera oculta en ellas, sino más bien para poner en evidencia diversas formas en que se ha explicado teórica y experimentalmente al fenómeno físico de interés, lo cual aporta elementos para contextualizar en las propuestas de enseñanza el carácter perspectivista del conocimiento científico.

Sin embargo, como lo señalan Acevedo y García (2017) es necesario ampliar esta mirada de los análisis históricos la cual hace un gran énfasis en los asuntos epistémicos, para ello proponen comenzar a tener en cuenta en estos estudios históricos los asuntos no epistémicos que se encuentran relacionados con la influencia de los aspectos contextuales, personales y psicológicos de los científicos en la construcción de sus teorías. Es por esta razón, que para realizar análisis históricos críticos estos autores recomiendan hacer énfasis en las controversias que se han generado entre las explicaciones construidas por diferentes comunidades científicas sobre el fenómeno de interés, resaltando esos aspectos no epistémicos que se han presentado en dichas controversias como, por ejemplo, la influencia de la idiosincrasia de los científicos en los desacuerdos que emergen alrededor de sus diferentes teorías sobre el mundo físico.

De esta manera, hacer un análisis histórico crítico es equivalente a construir una controversia científica, ver el pasado con los ojos del presente con una intención pedagógica, esto es, encontrar elementos que permitan superar una enseñanza basada en los productos de la ciencia, una enseñanza en la que ya todos los problemas están solucionados *a priori*, a través de la cual los estudiantes aprenden un conocimiento científico lleno de respuestas y carente de preguntas.

Se trata entonces de utilizar la historia como insumo para construir propuestas didácticas que fomenten la construcción con los estudiantes de una ciencia escolar, para ello se precisa rastrear: aquellos experimentos físicos o mentales que han sido cruciales en la organización de los conceptos físicos de interés, aquellas hipótesis sobre la naturaleza utilizadas por las comunidades científicas que construyeron explicaciones para estos conceptos físicos, aquellas preguntas que se hicieron los científicos al momento de teorizar los conceptos y aquellas objeciones sobre sus teorías que los propios científicos no pudieron responder satisfactoriamente (Ayala, 2006; Acevedo y García, 2017; Velilla, 2018).

Ahora bien, teniendo en cuenta la caracterización realizada sobre los análisis histórico-críticos se procederá a construir uno sobre el fenómeno de la gravitación destacando aspectos epistémicos y no epistémicos presentes en los esquemas teóricos de Descartes, Newton y Euler. Esto con la intención de encontrar insumos para construir una propuesta didáctica en torno a dicho fenómeno, la cual permita que los estudiantes no sean receptores pasivos de los conocimientos científicos, sino que a partir de sus propias experiencias discutan de forma crítica con los planteamientos de estos pensadores planteando para ello sus propias explicaciones acerca de las experiencias propuestas a lo largo de las actividades de aprendizaje.

Análisis Histórico-Crítico sobre las perspectivas de René Descartes, Isaac Newton y Leonhard Euler respecto a la Naturaleza del Fenómeno de la Gravitación

En el desarrollo científico de la mecánica, las discusiones conceptuales y filosóficas sobre el fenómeno de la gravitación, han generado una gran cantidad de controversias entre las diferentes escuelas de pensamiento que lo han estudiado. Para algunos científicos sólo es necesario explicar la forma cómo la fuerza gravitacional actúa en los cuerpos, porque si se quisiera dilucidar su naturaleza u origen físico se tendría que plantear hipótesis relacionadas con alguna propiedad

inherente a los cuerpos, lo cual no sería pertinente en el marco de la filosofía experimental. En oposición a estos, otro grupo de pensadores sostienen que no es posible explicar cómo actúa la fuerza gravitacional sin definir cuál es su origen físico, para ello emplean hipótesis sustentadas en alguna propiedad natural de los cuerpos y con base en ellas recurren a explicar cómo es el funcionamiento de la fuerza gravitacional.

Un ejemplo de esta disputa se presenta entre *la escuela del continuo* representada por Descartes y Euler y la *escuela de las acciones a distancia* representada por Newton, por lo cual en este apartado se busca profundizar en la mecánica cartesiana, la mecánica newtoniana y la mecánica euleriana con los siguientes objetivos: (1) explicar cuál es la naturaleza u origen físico de la fuerza gravitacional para estos tres científicos, (2) exponer sus explicaciones sobre la forma cómo actúa la fuerza gravitacional, (3) destacar algunos aspectos teológicos que emergen en la interpretación que hacen Descartes y Newton sobre la causa de la gravitación, (4) exponer que en la historia de la ciencia no ha existido una única interpretación sobre el problema de la gravitación como lo presentan algunos libros de texto para la enseñanza de la física.

El fenómeno de la gravitación desde los planteamientos de René Descartes

En el contexto histórico del siglo XVII en la comunidad científica se gestó un gran movimiento que pretendía superar la física aristotélica argumentando que por su naturaleza especulativa carecía de las herramientas necesarias para construir proposiciones generales sobre la naturaleza. Uno de los filósofos naturales representantes de este movimiento fue René Descartes quien critica de forma vehemente dos aspectos de los pensadores aristotélicos: basarse más en las abstracciones filosóficas que en la evidencia empírica y atribuirle cualidades ocultas o particulares a la materia como la humedad, la sequedad, la potencia, la actualidad, la liviandad, entre otras; haciendo que las explicaciones construidas sobre los fenómenos físicos dependan de estas. Según Descartes para construir una ciencia predictiva se hace necesario reducir las cualidades ocultas que se le otorgan a la materia y entender su distribución en el universo desde una teoría que permita extraer conclusiones objetivas, a saber, la geometría (Ruiz, 2012).

El principal cambio que induce Descartes en la filosofía natural es el de independizar los conceptos físicos de las cualidades ocultas otorgadas hipotéticamente a la materia. Un ejemplo de esto puede ser el concepto de movimiento, era usual que los aristotélicos identificaran varios tipos de movimientos y los diferenciaban entre sí en dependencia de qué se movía, por ejemplo, el movimiento del vapor de agua era diferente del movimiento de una piedra que se deja caer en la Tierra, el primero era llamado movimiento hacía el calor que evapora el agua y el segundo era movimiento hacía la forma (la Tierra) donde naturalmente habita la piedra (Descartes, 1989). Para este científico ambos movimientos son similares porque su descripción geométrica es en esencia la misma: materia que se mueve de un lugar a otro ocupando sucesivamente todos los espacios que recorre.

Por consiguiente, Descartes (1989) comprende que para construir su mecánica solo basta con suponer que la materia tiene la propiedad de distribuirse por todo el espacio formando en este proceso a los cuerpos con diferentes tamaños y formas, lo cual le permite usar la geometría para matematizar sus movimientos. Puede decirse entonces que Descartes (1989) abandona las cualidades ocultas como fuentes de explicaciones para los fenómenos mecánicos y en su lugar plantea tres hipótesis a partir de las cuales pretende estudiar la naturaleza, a saber: la existencia de la materia, su extensión en todo el espacio y su movimiento.

En correspondencia con estas hipótesis también plantea en su obra *Principios de la filosofía* tres leyes del movimiento las cuales son:

“Primera ley de la naturaleza: cada cosa permanece en el estado en el que está mientras que nada modifica ese estado”. (Descartes, 1995, p.97)

“Segunda ley de la naturaleza: todo cuerpo que se mueve tiende a continuar su movimiento en línea recta”. (Descartes, 1995, p.100)

“Tercera ley de la naturaleza: si un cuerpo en movimiento choca con otro más fuerte que él, no pierde nada de su movimiento, ahora bien, si encuentra otro más débil y que pueda mover, pierde tanto movimiento como comunica al otro”. (Descartes, 1995, p.101)

Es menester destacar que Descartes (1995) propone sus dos primeras leyes de la naturaleza en un mundo ideal donde la existencia de un cuerpo no es perturbada por otra causa más que sí

mismo, allí es claro que la materia se preserva al igual que el estado (de reposo o movimiento) otorgado en el experimento mental. Este científico no necesita que sus dos primeras leyes sean evidentes en el mundo real porque son hipótesis sobre la conservación de la materia y del movimiento. Por su parte, la tercera ley es una conclusión empírica de las dos primeras en el sentido de que, si existe la materia y la conservación del movimiento, necesariamente debe existir interacción entre las diferentes formas que asuma la materia, es decir, la materia se ordena así mismo a través de los choques. Y es justo en el estudio de estos choques que Descartes (1995) basa toda su mecánica.

Ahora bien, aún quedan dos preguntas importantes por responder, relacionadas con el esquema teórico de la mecánica cartesiana: ¿no es contradictorio que Descartes utilice hipótesis cuando su principal crítica al aristotelismo radica en que le otorgaban propiedades ocultas a la materia? y ¿por qué Descartes les llamaba a sus leyes del movimiento las leyes de la naturaleza? (Ruiz, 2012).

Henry (2000) y Ruiz (2012) comentan que el problema de Descartes con el aristotelismo no era tanto el uso de hipótesis, sino la imposibilidad de asignarle objetividad a esas hipótesis. Conceptos o hipótesis como la potencia, el motor, la actualidad, la sequedad, la liviandad y el calor relacionados con los cambios de lugar realizados por los cuerpos y los estados de la materia convierten al concepto de movimiento en una acción imposible de explicar objetivamente. En vista de esto, Descartes propone reducir todas aquellas hipótesis a solamente tres: la existencia de la materia, su distribución por todo el espacio y su posibilidad de movimiento, definiendo así un único tipo de movimiento: el resultado de los choques que tiene la materia en sus diferentes representaciones, formas y tamaños. A su vez, para darle objetividad al estudio del movimiento se vale de la geometría, rama de las matemáticas que le permite sacar conclusiones objetivas al definir un origen desde el cual analizar los choques en determinado fenómeno físico. En consecuencia, para Descartes termina siendo válido plantear hipótesis siempre y cuando estas no vayan en contravía con la necesidad de darle objetividad y generalidad a las conclusiones que se extraen del estudio geométrico de los choques entre las diferentes formas que asume la materia.

De hecho, la validez que Descartes le otorga al uso de hipótesis en la construcción de los conocimientos científicos está vinculada también con su posición sobre la existencia de Dios y el papel del ser humano para comprender su creación. Desde la perspectiva de Descartes (1995) fue

Dios quien creó la materia, la distribuyó en el espacio, le otorgó la posibilidad de movimiento y actúa para preservarla. Las leyes que rigen esta preservación son a las que Descartes llama *leyes de la naturaleza*, es así como para Descartes la tarea del científico no es explicar por qué Dios creó la materia, sino más bien tratar de dilucidar las leyes que rigen su preservación o mejor dicho estudiar la naturaleza. Lo anterior, aparece consignado en el principio veintiocho del capítulo uno de su obra *Principios de la filosofía*, el cual fue titulado *No es preciso examinar en razón de qué fin Dios ha hecho las cosas; basta con examinar por qué medio*, allí Descartes (1995) comenta que:

Tampoco nos detendremos en el examen de los fines que Dios se ha propuesto al crear el mundo y apartaremos totalmente a nuestra filosofía de la indagación de las causas finales, pues no debemos atribuirnos tanto valor como para creer que Dios ha querido que fuésemos partícipes de sus designios; más bien, considerando a Dios como el Autor de todas las cosas, solamente intentaremos indagar mediante la razón que ha puesto en nosotros cómo lo que percibimos por mediación de nuestros sentidos ha podido ser producido; así, estaremos seguros, en virtud de algunos atributos de las cosas de los que ha querido que tuviésemos conocimiento, que aquello que hubiésemos percibido una vez clara y distintamente como perteneciente a la naturaleza de estas cosas, tiene la perfección de ser verdadero. (p.65)

En este sentido, Descartes para construir su mecánica asume como hipótesis la existencia de la materia y la conservación del movimiento, de este modo sólo puede valerse de estas dos herramientas para tratar de explicar los fenómenos mecánicos que se presentan en la naturaleza. Por ejemplo, Descartes (1995) al estudiar el movimiento de los planetas alrededor del Sol, inicia asumiendo este último como el centro o el origen con respecto al cual podría medir todos los movimientos de los demás planetas usando las herramientas de la geometría, pronto se da cuenta que solo era posible analizar el movimiento de cada planeta a la vez porque matematizar los movimientos relativos al estudiar tres cuerpos o más le resultaba muy complejo (Descartes,1995).

Así pues, lo que logró Descartes (1995) fue estudiar algunos comportamientos espaciales que tenían los planetas, pero no pudo explicar geoméricamente el mecanismo que les permitía seguir sus órbitas alrededor de un centro llamado Sol, su camino fue más bien el de proponer una explicación cualitativa para dicho fenómeno. Partiendo de su hipótesis sobre la extensión de la

materia, asume que los planetas y el Sol están rodeados por un tipo de materia celeste, la cual otorga a los planetas y al Sol la propiedad de generar remolinos a su alrededor, cuya fuerza es proporcional a la cantidad de masa que posee cada cuerpo. Luego, el Sol debido a su gran masa genera un remolino celeste tan fuerte que induce en los planetas un movimiento a su alrededor, pero no es tan fuerte como para hacer que los planetas choquen con él. El hecho de que los planetas no colisionen entre sí o contra el Sol, es consecuencia de que todos estos cuerpos generan remolinos por estar sumergidos en la misma materia celeste, si bien unos remolinos son más fuertes que otros, ninguno tiene la capacidad para absorber a los demás. Este análisis sobre el movimiento planetario aparece consignado en el principio treinta del capítulo tres de su obra *Principios de la filosofía*, el cual fue titulado *Todos los planetas son arrastrados alrededor del sol por el cielo en el que están alojados*, allí Descartes (1995) explica lo mencionado anteriormente de la siguiente manera:

Pensemos que la materia del cielo en la que están ubicados los planetas, gira sin cesar y trazando un círculo, tal y como lo haría un torbellino que tuviera al Sol como centro; pensemos así mismo que las partes del torbellino que están más próximas al Sol se mueven con mayor rapidez que aquellas que están alejadas y a una cierta distancia; pensemos que todos los planetas (entre los cuales nosotros situamos a la Tierra) permanecen siempre suspendidos entre las mismas partes de esta materia del cielo. En razón solamente de esto y sin recurrir a postular otros mecanismos, podremos entender todos los fenómenos que se observan como propios de los planetas. Todo acontecería de igual modo que en los meandros de los ríos, en los que el agua se repliega sobre ella misma y forma círculos al girar; si algunas briznas u otros cuerpos muy ligeros flotan, se puede ver que el agua las arrastra y las hace mover en círculo siguiendo su mismo movimiento; incluso entre estas briznas se puede observar que frecuentemente se dan algunas que giran en torno a su propio centro y que aquellos cuerpos, que están más próximos del centro del remolino que los contiene, concluyen su giro después de aquellos que están a mayor distancia de su centro. Se puede, pues, imaginar que acontece lo mismo con los planetas y sólo hace falta postular esto para explicar todos los fenómenos. (p.138)

Aunque Descartes (1995) no habla propiamente del concepto de gravedad puede decirse que para él este fenómeno no es producido necesariamente por una fuerza, realmente bajo su

configuración teórica sería una consecuencia directa de su hipótesis sobre la existencia de los remolinos celestes. Por ende, la causa de la gravitación para Descartes no radica en los cuerpos sino más bien en un mecanismo externo que les induce la propiedad de generar remolinos celestes. Como esta hipótesis no contradice los resultados geométricos que Descartes obtuvo sobre el movimiento de los planetas alrededor del Sol, para él es una suposición válida que le permite explicar cualitativamente el fenómeno de la gravitación.

En síntesis, Descartes para formular su mecánica asume algunas hipótesis sobre la naturaleza y a partir de ellas crear otras nuevas en el proceso de intentar explicar los fenómenos mecánicos. Esta mirada fue fuertemente criticada por algunos filósofos experimentales, entre ellos Sir Issac Newton quien, como se verá a continuación, no se atrevía a otorgarle una causa física a la gravedad para no caer en el planteamiento de hipótesis ficticias.

El fenómeno de la gravitación desde los planteamientos de Sir Issac Newton

Antes de hablar sobre el fundamento de la fuerza gravitacional desde la perspectiva de Newton, es necesario profundizar en la forma como él concebía el concepto de fuerza. En sus *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* (1987), Newton empieza por exponer las definiciones fundamentales de su mecánica, tales como el espacio absoluto y relativo, el lugar absoluto y relativo, el tiempo, la cantidad de movimiento, la cantidad de materia, la fuerza ínsita, la fuerza impresa y la fuerza centrípeta. Sin embargo, aunque Newton define estos tres tipos de fuerzas, no establece cuál es el fundamento físico de este concepto, para él las fuerzas están dadas *a priori* y la única tarea de la ciencia de la mecánica consiste en determinar sus efectos.

En la definición V de los *Principia*, Newton (1987) afirma que: “La fuerza centrípeta es aquella en virtud de la cual los cuerpos son atraídos, empujados, o de algún modo tienden hacia un punto como a un centro” (p. 85). Para explicar esta fuerza Newton presenta el siguiente ejemplo: imagine por un momento que usted tiene una soga y ata a ella una piedra, luego a partir de un punto de la soga, usted comienza a darle vueltas en círculo cada vez más rápido, el hecho de que la piedra no salga despedida siguiendo una trayectoria rectilínea, se debe a que la soga está ejerciendo una fuerza sobre la piedra, la cual hace que la piedra tienda hacia la mano o hacia el punto de la soga

desde el cual se le está dando vueltas (Newton, 1987). En términos generales, Newton (1987) menciona que:

(...) Igual ocurre con todos los cuerpos que giran en círculo. Todos intentan alejarse del centro del círculo y, a no ser por una fuerza contraria a este intento, que los cohíba y los obligue en sus órbitas y la que por ello llamo centrípeta, se alejarían todos en línea recta con movimientos uniformes. (pp. 85-86)

Newton clasifica la magnitud de esta fuerza en tres clases, a saber, magnitud absoluta, magnitud acelerativa y magnitud motriz¹.

Para explicar la magnitud absoluta de la fuerza centrípeta Newton pone de ejemplo a la fuerza gravitacional generada por el Sol sobre los planetas en el sistema solar. Él explica que estos últimos siguen determinadas órbitas elípticas, por ello se hace presente una fuerza centrípeta, porque el Sol tiene la propiedad de difundir en todo su alrededor un poder de atracción, inclusive más allá de Saturno. Este efecto de atracción se da porque la masa del Sol es mucho mayor que la masa de los planetas que orbitan alrededor de este. Por ende, la magnitud absoluta de la fuerza centrípeta es directamente proporcional a la masa del centro al cual están siendo atraídos otros cuerpos.

En el caso de la magnitud motriz de la fuerza centrípeta Newton comenta que el Sol puede atraer a los planetas porque tiene la capacidad para atraer a cada partícula de estos, es decir, el movimiento de los planetas resulta siendo la suma de los movimientos de cada una de sus partículas. En otras palabras, el Sol necesita una fuerza mínimamente igual al peso de los planetas para poder atraerlos hacía él. De esta manera la magnitud motriz de la fuerza centrípeta es una medida de la capacidad que tiene un cuerpo para no dejarse llevar o atraer hacía un centro (o hacía un cuerpo con mayor masa), más precisamente esta magnitud es equivalente al peso del cuerpo que está siendo atraído.

Así mismo, en sus reflexiones sobre el movimiento de los planetas Newton explica que la fuerza de atracción que estos experimentan a causa del Sol los hace cambiar constantemente de

¹ Para leer las explicaciones que Newton da sobre estas tres magnitudes de la fuerza centrípeta se recomienda analizar las definiciones V, VI, VII, VIII y el prefacio del Libro III de los *Principia*. En los tres párrafos siguientes se ilustra la interpretación que se hace de sus explicaciones en esta investigación.

posición y velocidad. Por lo tanto, experimentan una aceleración, la medida de este efecto corresponde a la magnitud acelerativa de la fuerza centrípeta. Por ejemplo, cuando se deja caer un cuerpo en la Tierra se sabe que esta última lo atrae a su centro así durante la caída el cuerpo experimenta un cambio en su posición y velocidad producto de que sobre él está actuando la fuerza gravitacional generada por la Tierra, dicho cambio continuo de velocidad induce en el cuerpo una aceleración, la medida de este efecto sería la magnitud acelerativa de la fuerza centrípeta ejercida por el planeta sobre el cuerpo que cae. Similarmente, la Tierra cae hacia el Sol cambiando continuamente de posición y velocidad por lo que experimenta una aceleración, la medida de este efecto sería la magnitud acelerativa de la fuerza centrípeta ejercida por el Sol a la Tierra.

A modo de síntesis y para una mejor comprensión de estas tres magnitudes de la fuerza centrípeta Newton (1987) menciona que:

Es conveniente, para ser breves, llamar a estas magnitudes fuerzas motrices, acelerativas y absolutas; y para distinguirlas, referirlas a los cuerpos que tienden a un centro, a los lugares de los cuerpos y al centro de fuerzas: a saber, la fuerza motriz a un cuerpo, como si se tratara del impulso de un todo hacia un centro, impulso compuesto de los impulsos parciales de todas las partes; y la fuerza aceleratriz al lugar del cuerpo, como si se tratara de cierta eficacia difundida desde el centro por cada punto en torno para mover los cuerpos situados en él; la fuerza absoluta al centro, como si estuviera dotado de una causa sin la que las fuerzas motrices no se propagarían por las regiones entorno, ya sea tal causa un cuerpo central (como el imán en el centro de la fuerza magnética o la Tierra en el centro de la fuerza de gravitación) u otra causa oculta. Tal concepto es meramente matemático, puesto que no considero aquí las causas y las bases físicas de las fuerzas. (p. 87)

De esta manera, Newton configura cuatro *fuerzas* relacionadas con la fuerza gravitacional. A saber: la fuerza centrípeta, la fuerza motriz, la fuerza acelerativa y la fuerza absoluta. Además, encuentra una relación de composición entre la fuerza motriz y la fuerza acelerativa. Este autor argumenta que: “(...) la fuerza motriz surge de la fuerza acelerativa y de la misma cantidad de materia conjuntamente. Pues la suma de los impulsos de la fuerza aceleratriz sobre cada parte representa la fuerza motriz del todo” (Newton, 1987, p.87). Es decir, un cuerpo tiende hacia otro con mayor masa siempre y cuando este último tenga la capacidad de hacer que cada partícula del

cuerpo atraído se vea obligada a tender hacia él. Por lo tanto, la fuerza acelerativa puede ser vista como el impulso que hace cada partícula de un cuerpo para hacerlo tender hacia otro cuerpo con mayor masa. Y es posible entender la fuerza motriz como la oposición realizada por el cuerpo que está siendo atraído para no dejarse llevar, oposición compuesta por la suma de todas las partículas que constituyen al cuerpo. Al respecto, Newton (1987) menciona que:

(...) llamo en el mismo sentido fuerzas acelerativas y motrices a las atracciones y a los impulsos. Utilizo unas por otras, e indiferentemente, las palabras atracción, impulso o tendencia de cualquier tipo a un centro, y lo hago considerando a tales fuerzas, no en su aspecto físico, sino sólo el matemático. (p. 88)

Esto implica que para este autor el peso de un cuerpo sea equivalente a la fuerza necesaria que se le deba imprimir a cada una de sus partículas para hacerlo tender hacia un centro. Por ejemplo, el peso de la Tierra (o más bien su oposición a dejarse llevar por el Sol hacia su centro) es equivalente a la sumatoria de las fuerzas que el Sol debe imprimirle a cada partícula que compone a la Tierra para hacerla mover hacia él. Es decir, el cambio de movimiento y velocidad que induce el Sol sobre la Tierra es igual a la sumatoria del cambio que imprime en cada una de las partículas que la componen. De ahí que la fuerza motriz (el poder de atracción) inducida por el Sol sobre la Tierra sea equivalente a la fuerza acelerativa (el impulso) que se hace presente en cada partícula del planeta para hacerlo tender hacia el Sol.

En lo expuesto hasta este punto, se observa que, aunque Newton no considera necesario ahondar en el fundamento físico del concepto de fuerza, para el desarrollo de sus teorías construye diferentes tipos de fuerzas que están siempre relacionadas con una cualidad de los cuerpos para atraerse entre sí. A los cuerpos que atraen a otros Newton los llama centros, por ejemplo, la Tierra por su interacción gravitacional con el Sol se mueve en una trayectoria elíptica alrededor de él, para este científico el Sol sería el centro al que la tierra se ve impulsada a ir. Sin embargo, Newton comenta que no está seguro de la naturaleza u origen físico de esta fuerza de atracción, las propiedades de los cuerpos, como su masa o forma geométrica, solo ponen de manifiesto la magnitud que la fuerza gravitacional presenta entre ellos, pero no son su origen. La fuerza está presente aún en ausencia de cuerpos que interactúen lo único que hacen estos es mostrar su existencia.

Por consiguiente, en la mecánica newtoniana la naturaleza o el origen físico de la fuerza gravitacional no está claro. Dicho de una mejor manera Newton evita suponer propiedades inherentes a la materia o al espacio que sustenten su visión teórica de la gravedad, tal y como afirma en el prefacio del Libro III de *los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*:

Hasta aquí he expuesto los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza de la gravedad, pero todavía no he asignado causa a la gravedad. Efectivamente esta fuerza surge de alguna causa que penetra hasta los centros del Sol y de los planetas sin disminución de la fuerza; y la cual actúa, no según la cantidad de las superficies de las partículas hacia las cuales actúa (como suelen hacer las causas mecánicas) sino según la cantidad de materia sólida; y cuya acción se extiende por todas partes hasta distancias inmensas, decreciendo siempre como el cuadrado de las distancias. (...) Pero no he podido todavía deducir a partir de los fenómenos la razón de estas propiedades de la gravedad y yo no imagino hipótesis. Pues, lo que no se deduce de los fenómenos, ha de ser llamado Hipótesis; y las hipótesis, bien metafísicas, bien físicas, o de cualidades ocultas, o mecánicas, no tienen lugar dentro de la Filosofía experimental. (Newton, 1987, pp. 588-589)

Lo que quiere decir Newton en este pasaje de su obra es que en la filosofía experimental es preciso abandonar el uso de hipótesis que no puedan ser comprobadas a través de los hechos empíricos. Por ejemplo, Descartes explicaba su concepción de la gravedad argumentando que cada cuerpo celeste generaba en el espacio una especie de torbellino cuya fuerza era directamente proporcional a su masa, por lo cual los cuerpos con mayor masa podían atraer a otros cuerpos cuyo torbellino no fuese tan fuerte. Aunque en el fondo las explicaciones sobre cómo actúa la fuerza gravitacional no son tan diferentes, pues la fuerza de atracción depende siempre de la masa de los cuerpos, las causas que le dan existencia a la gravitación si distan mucho. Para Newton no es posible definir una hipótesis como los torbellinos de Descartes, pues sería imposible comprobar si el espacio que rodea a los cuerpos actúa como un río o un lago extenso; por ello él prefiere solamente dedicarse a explicar cómo actúa la fuerza gravitacional con el objetivo de no generar hipótesis sobre su causa física o naturaleza.

En este sentido, el trabajo de Newton estuvo más preocupado por estudiar la forma cómo actúa la fuerza gravitacional en los movimientos de los cuerpos celestes que en construir una razón

física a su existencia relacionada con alguna propiedad oculta, natural o hipotética de los cuerpos. No obstante, como lo hacen evidente Henry (2006) y Menéndez (2018) es común encontrar en las investigaciones de carácter filosófico e incluso en los procesos de enseñanza de la física que a Newton se le adjudica el haber postulado que la fuerza gravitacional es algo inherente a la materia, esto implica que los cuerpos poseen la propiedad de atraerse a distancia sin ningún intermediario lo cual es una muestra de las inadecuadas interpretaciones que frecuentemente se les da a los trabajos de Newton. Este autor en la carta III del conjunto de cartas donde propone algunos argumentos en favor de la existencia de Dios y que envía entre 1692-1693 a su amigo Bentley, sacerdote de Inglaterra, critica de forma contundente esta perspectiva mencionando que:

Es inconcebible que la materia bruta inanimada pudiera, sin la mediación de algo más, que no fuera material, operar sobre y afectar a otra materia sin contacto mutuo, como debiera ser si la gravitación en el sentido de Epicuro es esencial e inherente a ella. Y esta es una razón de por qué desearía que usted no me atribuyera a mí la gravedad innata. Que la gravedad debiera ser innata, inherente y esencial a la materia, de modo que un cuerpo pudiera actuar sobre otro a la distancia a través de un vacío, sin la mediación de ninguna otra cosa, por y a través del cual sus acciones y fuerzas pudieran ser transmitidas de uno a otro, es para mí absurdo tan grande que creo que ningún hombre que tenga en materias filosóficas una facultad competente de pensamiento puede caer jamás en él. (Newton, 1998, p. 131)

Newton no hace tanto énfasis en discutir el agente que transmite la gravedad o más bien su causa secundaria, por ello en cierto pasaje de sus cartas al sacerdote Bentley comenta que deja a la consideración de sus lectores “(...) si este agente es material o inmaterial” (Newton, 1998, p.132). Pero aclara que sin importar las hipótesis que se creasen para explicar el agente o causa secundaria que transporta la gravedad, este mecanismo no podría explicar mucho más que la trasmisión de la fuerza a través de distancias inmensas, por ello Newton (1998) afirma que en un comienzo la materia tuvo que ser esparcida en el universo acoplándose en distintas representaciones y formando así los cuerpos celestes, cuyas trayectorias de movimiento traslacional y rotacional requirieron “de haber sido impuestas por un Brazo Divino” (Newton, 1998, p.135).

En ese sentido, Newton deja libre a sus lectores para escoger el origen del agente que actúa constantemente transmitiendo la gravedad de un cuerpo a otro, es decir, su causa secundaria. Para él la causa primaria de la gravedad es una Deidad, pues si la gravedad fuese innata a la materia esta nunca se hubiese podido distribuir en el espacio para formar lo que actualmente se conoce como universo. En otras palabras, la materia necesitaba de un agente (Deidad) que la distribuyese en el espacio e indujera entre sus diferentes representaciones o formas una fuerza de acción a distancia que le permitiera organizarse como el resultado de sus interacciones lo quisieran. Aunque para Newton la materia es libre de organizarse a sí misma, dicha organización emerge a partir de una propiedad otorgada por Dios a la materia, de este modo el universo se configura como la misma representación del poder de Dios y su gran inteligencia. Lo anterior, puede verse en el siguiente fragmento extraído del *Escolio General* de los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* en donde Newton (1987) concede a Dios el título de creador del sistema solar y expone su visión sobre el gran poder que posee este ser.

Los seis planetas principales giran en torno al Sol en círculos concéntricos (...) con la misma dirección de movimiento y aproximadamente en el mismo plano. Diez lunas giran en torno a la Tierra, Júpiter y Saturno en círculos concéntricos, con la misma dirección de movimiento, en los planos de las órbitas de los planetas muy aproximadamente (...). Tan elegante combinación de Sol, planetas y cometas sólo pudo tener origen en la inteligencia y poder de un ente inteligente y poderoso (...).

Él lo rige todo, no como alma del mundo, sino como dueño de todos. (...) Es eterno e infinito, omnipotente y omnisciente, es decir, dura desde la eternidad hasta la eternidad y está presente desde el principio hasta el infinito: lo rige todo; lo conoce todo, lo que sucede y lo que puede suceder. (pp.586-587)

Aunque Newton (1987) define a Dios como un ser con la capacidad de conocer todo, el futuro y el presente, no es pertinente pensar que el universo actúa según sus designios. La teología seguida por este científico es de carácter voluntarista, esta perspectiva sostiene que Dios no actúa para gobernar el universo a su manera, sino que, al conceder la propiedad a la materia de atraerse entre sí, esta se termina gobernando así misma como resultado de sus interacciones (Henry, 2006). De esta manera, para Newton (1987) no es necesario que Dios actúe todo el tiempo ordenando el

universo pues fue este mismo quien dotó a la materia con la propiedad que le permite ordenarse a sí misma, luego si Dios es inteligente entonces su creación también lo es y por ello no necesita quien la domine.

En conclusión, desde la perspectiva de Newton (1987) la naturaleza de la fuerza gravitacional tiene su origen en Dios pues fue él quien dotó a la materia de esta propiedad. Por lo cual, se coincide con Henry (2006) cuando menciona que para Newton la figura de Dios interviene en la comprensión del mundo no como un hecho meramente aislado a la ciencia desde el cual se podrían explicar cosas que sin recurrir a esa figura fuese imposible, sino que Dios representa para Newton un saber con una carga epistemológica lo suficientemente trascendente como para atribuirle la existencia de las fuerzas de acción a distancia en la naturaleza².

Teniendo esto presente cobra todo el sentido una de las reglas que Newton (1987) propone para hacer filosofía experimental: no proponer hipótesis sobre la naturaleza, cualquier afirmación sobre ella debe ser comprobable experimentalmente. Si se hace una lectura rápida de esta regla se puede pensar que Newton (1987) cae en una contradicción porque supone la existencia de Dios, pero la figura de Dios para él es comprobable experimentalmente, de hecho como se pudo evidenciar en el fragmento sobre el movimiento de los planetas en el sistema solar, para Newton (1987) la naturaleza misma y su funcionamiento es prueba de la inteligencia que las creó, es decir, Dios es un fenómeno experimental que se comprueba a través de su misma creación. Esto también lo constata Newton (1998) en la carta I al sacerdote Bentley cuando expone que:

(...) Hacer este sistema, con todos sus movimientos, requirió una causa que entendiera, y comparara unas con otras, las cantidades de materia en los distintos cuerpos del Sol y los planetas, y los poderes gravitacionales resultantes de ello; las diversas distancias de los planetas primarios respecto al Sol, y de los secundarios respecto a Saturno, Júpiter y la Tierra; y las velocidades con las cuales estos planetas podrían girar en torno a aquellas

² Koyré (1965) uno de los estudiosos de Newton más reconocidos en la comunidad académica expone en el apéndice C titulado *¿Gravity an Essential Property of Matter?* de sus *Newtonian Studies* que la figura de Dios para Newton sólo era un argumento de carácter no epistemológico a partir del cual se explicaban algunos vacíos teóricos sobre las fuerzas de acción a distancia. Henry (2006) muestra una perspectiva opuesta a partir de la cual explica cómo la figura de Dios fue una base epistemológica para las teorías de Newton sobre la luz y la gravedad. Apoyados en este último autor y en algunos fragmentos de Newton (1987;1998) sobre la gravedad se expone en esta investigación una interpretación de dicho debate.

cantidades de materia en los cuerpos centrales; y comparar y ajustar todas estas cosas conjuntamente, en una variedad tan grande de cuerpos, prueba que aquella causa no es ciega ni fortuita, sino muy entrenada en Mecánica y Geometría. (p.124-125)

Ahora bien, hasta este momento se han expuesto dos miradas sobre la filosofía natural y la causa de la gravitación. La tercera vía que se discutirá a continuación podría pensarse como una profundización de la interpretación cartesiana en un intento de darle estructura epistemológica a la teoría de los remolinos o vórtices celestes como causantes de la gravitación.

El fenómeno de la gravitación desde los planteamientos de Leonhard Euler

Antes de hablar sobre el fundamento de la fuerza gravitacional desde la perspectiva de Euler, es necesario profundizar en el origen que este científico le atribuye al concepto de fuerza. Para ello primero se debe discutir qué entiende Euler por propiedad natural de los cuerpos y definir a la luz de sus planteamientos dos propiedades sin las que según él es imposible concebirlas, a saber, la inercia y la impenetrabilidad (Romero y Ayala, 1996).

Euler llama propiedad natural de los cuerpos a aquellas que se deducen al aislar un cuerpo de todos los demás, suponiendo por un momento que no existe e imaginándoselo en un mundo paralelo cuyas propiedades son impuestas por quien está haciendo el proceso de abstracción. Según Euler (1990a), "(...) Esta hipótesis, aunque imposible, puede permitir distinguir lo que es realizado por la naturaleza del cuerpo mismo, de aquello que otros cuerpos puedan realizar sobre él" (p. 154). En otras palabras, lo que Euler propone es que en el proceso de construir los conceptos de la mecánica es necesario definir las propiedades que son naturales a los cuerpos, con el objetivo de dilucidar cuáles conceptos tienen su origen físico en el cuerpo mismo. Este proceso, como se verá a continuación, se hace por medio de la experimentación mental, suponiendo que el cuerpo se encuentra aislado de los demás en un mundo que carece de fricción. Claramente un mundo sin fricción no existe en la realidad, pero Euler considera esta estrategia como un medio a través del cual el científico puede darse cuenta cuales propiedades son naturales o inherentes a los cuerpos.

Para fundamentar el principio de inercia Euler hace un proceso de abstracción que consiste en aislar un cuerpo de todos los demás y ponerlo en movimiento dentro de un mundo ideal, es decir, sin fricción de ningún tipo. Es claro que en el mundo real esto no es posible pues la fricción siempre contrarresta el movimiento de los cuerpos, pero en la mente es posible crear dicho mundo e

imaginar que un cuerpo dentro de este nunca parará de moverse porque no hay nada que se oponga a su movimiento. Apoyado en este experimento Euler (1990b) argumenta que un cuerpo mantendrá su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta a menos que sea obligado por fuerzas exteriores a cambiar su estado, de lo cual se infiere que para Euler la conservación perpetua del mismo estado de movimiento (la inercia) es una propiedad natural de los cuerpos.

Sobre la impenetrabilidad Euler (1990c) expone que es una propiedad de los cuerpos, en virtud de la cual un cuerpo que ocupe un lugar en el espacio no permitirá que otro cuerpo diferente a él, lo ocupe al mismo tiempo. Para la fundamentación de esta propiedad Euler inicia por imaginarse un mundo sin fricción donde solo existen los cuerpos A y B, en este contexto Euler se imagina por un momento que el cuerpo A puede penetrar al cuerpo B, es decir ocupar su lugar en el espacio al mismo tiempo. Se da cuenta que esto fuese posible únicamente si el cuerpo B se exterminase completamente sin ninguna razón física de por medio, lo anterior es imposible por ello se puede deducir que el cuerpo A no puede penetrar al cuerpo B. Este experimento se realizó suponiendo que los cuerpos A y B estaban aislados por ello no existe ningún agente externo al cual atribuirle la imposibilidad de la penetración del cuerpo A al cuerpo B, por lo cual se concluye que la impenetrabilidad es una propiedad natural de los cuerpos³.

Respecto a la naturaleza u origen de las fuerzas Euler dedica todo un tratado a la reflexión sobre esta cuestión, dicho escrito recibe como título *Recherches sur l'origine des forces* y fue publicado en las memorias de la academia de las Ciencias en Berlín (1752). En este manuscrito Euler expone que por causa de la impenetrabilidad los cuerpos no continúan indefinidamente una misma trayectoria en el espacio, pues cuando intentan atacar la impenetrabilidad de otros cuerpos, surgen fuerzas que los hacen cambiar su estado de movimiento. Es decir, el origen de la fuerza euleriana está fundamentado en una propiedad física de los cuerpos, a saber, la impenetrabilidad⁴. Esta conclusión, puede observarse claramente en el siguiente fragmento de Euler (1752):

³Si desea profundizar en la construcción del concepto de impenetrabilidad realizada por Euler se recomienda remitirse a las siguientes investigaciones: Romero y Ayala (1996) y Romero (2007).

⁴ En esta misma línea Romero y Ayala (1996) explican que: “Es en este contexto que Euler asume que en todos los casos en donde haya interacción entre cuerpos, y por tanto cambios de estado, son situaciones que involucran choques entre cuerpos; en otras palabras, que todas las fuerzas del mundo son originadas en la impenetrabilidad de los cuerpos” (p. 24).

(...) Enseguida que se reconoce la impenetrabilidad de los cuerpos, se está obligado a reconocer que la impenetrabilidad está acompañada de una fuerza suficiente para impedir la penetración. Y en efecto si es imposible que los cuerpos se penetren, es necesario que haya obstáculos insuperables que se opongan a la penetración, y si la penetración no puede evitarse sin que los cuerpos cambien de estado, es necesario que se encuentre en los mismos, en tanto que son impenetrables, unas fuerzas suficientes para producir ese cambio de estado, sin las cuales la impenetrabilidad no subsiste. (p. 116)

Ahora bien, si cada cuerpo naturalmente está dotado de impenetrabilidad entonces tiene la capacidad de producir fuerzas todo el tiempo, de otro modo fuese penetrable. Por ende, no es posible concebir un cuerpo en el universo que siquiera por un momento no se encuentre generando fuerzas para defender su impenetrabilidad, lo cual implica que en cada instante de tiempo al cuerpo lo están intentando penetrar. En otras palabras, los cuerpos en el espacio están siendo chocados permanentemente lo cual es consecuencia de que el espacio es un continuo lleno de materia (Euler, 1988). Euler, por su formación cartesiana, se opone a la perspectiva que concibe al espacio como un recipiente que alberga materia en ciertas zonas pero que en otras es vacío, entender el espacio de ese modo implicaría pensar que las interacciones entre los cuerpos, por ejemplo, las interacciones gravitacionales, se dan a través del vacío. Lo cual es directamente una negación a la hipótesis fundante de la *física cartesiana*: la materia está distribuida por todo el espacio.

Similar al caso de la fuerza, la naturaleza de la fuerza gravitacional también se encuentra en la impenetrabilidad de los cuerpos. La trayectoria que siguen, por ejemplo, los planetas alrededor del Sol es consecuencia de una amenaza constante a la impenetrabilidad de estos mismos por los demás cuerpos celestes que habitan dentro o fuera del sistema solar. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la impenetrabilidad actúa como una mínima acción, es decir los cambios de movimientos que efectúa la Tierra sobre el Sol y los demás planetas a causa de la amenaza que esta hace sobre sus impenetrabilidades son los mínimos necesarios para que estos no se dejen penetrar. De la misma manera los cambios de movimiento que realiza la Tierra son los mínimos necesarios para mantener su impenetrabilidad cuando los otros planetas y el Sol la amenazan. Por consiguiente, a lo que Euler llama fuerza gravitacional es al choque constante de las impenetrabilidades de los diferentes cuerpos que habitan el universo, lo cual obliga a que estos sigan siempre la trayectoria que represente el mínimo gasto espacial, dado que están siendo

chocados constantemente en todas direcciones y su impenetrabilidad debe ser la suficiente para responder a todos estos choques. Con respecto a lo anterior, Euler (1752) expone lo siguiente:

Así en el choque de los cuerpos su impenetrabilidad no desarrollará siempre más que la más pequeña fuerza que es capaz de protegerlas de la penetración, y es sin duda sobre esta circunstancia que se fundó este principio general, que todos los cambios en el mundo son producidos a los menores gastos que es posible. (p. 119)

Por ende, no es posible calcular la fuerza gravitacional, pues esta es la composición de todas las impenetrabilidades del universo: lo que sí es posible medir consiste en la fuerza gravitacional relativa entre dos o más cuerpos al analizar sus cambios de movimiento causados por las fuerzas que generan al defender sus impenetrabilidades de otros cuerpos que intentan ocupar sus lugares⁵. Así, la idea de Euler sobre la fuerza gravitacional no es algo que exista de modo independiente de los sistemas físicos que interactúan. Al contrario, solo es posible conocer la magnitud de esta fuerza usando las herramientas del cálculo para analizar la forma en que interaccionan determinados cuerpos al atacar entre sí sus impenetrabilidades⁶.

Con base en lo expuesto hasta ahora, resulta pertinente preguntarse: ¿cuál es el mecanismo por el cual se transmiten y propagan a través del espacio las fuerzas creadas por las impenetrabilidades de los diferentes cuerpos? Al igual que Newton, Euler se opone a pensar que existen causas ocultas o inherentes a la materia por medio de las cuales dos o más cuerpos puedan atraerse a distancia. Por ello, este científico concibe al espacio como un continuo compuesto por una materia sutil que rodea a los cuerpos, a la cual llama éter, y le adjudica la propiedad de poder impulsar a los cuerpos celestes hacia un centro, o más bien, hacia un cuerpo con mayor masa. Dicho de otra manera, los planetas se ven atraídos hacia el Sol no porque el Sol tenga la cualidad innata de atraerlos sino porque el éter que rodea a los cuerpos se deforma de tal manera que empuja los

⁵A este respecto Romero y Ayala (1996) comentan que: “Teniendo en cuenta estos aspectos puede afirmarse que, desde la perspectiva euleriana, no hay leyes que gobiernen las fuerzas y sólo es posible determinarlas para casos particulares: considerando que los cambios de estado son debidos a interacciones por contacto, determinar las fuerzas es entrar a analizar las circunstancias particulares de tales choques” (pp. 24 – 25).

⁶Según Romero y Ayala (1996): “(...) Puede afirmarse que las fuerzas no tienen un carácter ontológico y, desde esta perspectiva, no debe atribuírseles una existencia real en sí mismas, independientes de las interacciones de los cuerpos. Además, dado que las fuerzas son el resultado de la impenetrabilidad de todos los cuerpos a la vez, éstas son en sí mismas indeterminadas y el cambio de estado que producen no es más que un efecto indirecto, puesto que el efecto principal es el mantenimiento de la impenetrabilidad” (p. 24).

planetas hacía él. De este modo no son necesarias las causas ocultas, dado que ya existe un mecanismo al que se le puede atribuir el movimiento de los cuerpos celestes a causa de la gravitación. Al respecto Euler (1760) expone que:

(...) Supongamos que antes de la creación del mundo, Dios no hubiera creado nada más que dos cuerpos alejados uno del otro, que no existiese además de ellos nada, y que tales cuerpos estuvieran en reposo, ¿sería posible que se aproximase uno al otro, o que tuviesen la propensión a aproximarse? estas ideas repugnan. Pero si se supone que el espacio entre los cuerpos está lleno de una materia sutil, se comprende inmediatamente que, sí esta materia puede actuar sobre los otros cuerpos impulsándolos, el efecto sería el mismo que si se atrajesen mutuamente. (...) Los antiguos filósofos se contentaban con explicar los fenómenos del mundo por esta clase de cualidades, que denominaron ocultas, (...). Luego, también se debería mirar como una cualidad oculta la atracción, en cuanto se le tiene como una propiedad esencial de los cuerpos: pero como hoy se trata de desterrar de la filosofía todas las cualidades ocultas, la atracción considerada en este sentido también debe desterrarse. (1990d, p. 217)

No obstante, Euler comenta que la manera cómo se deforma el *éter* para generar el efecto de atracción gravitacional es para él desconocida. Pero esta explicación le resulta más sensata que las acciones a distancia. Puesto que, bajo la lógica de las causas ocultas o acciones a distancia, la naturaleza de los cuerpos les otorga la propiedad de atraerse sin necesidad de un intermediario o de una propiedad natural en ellos que explique esta característica. Así, desde la perspectiva de este autor “(...) parece más razonable atribuir la atracción mutua de los cuerpos a una acción ejercida por el *éter*, aunque la manera nos sea desconocida, más que recurrir a una cualidad ininteligible” (Euler, 1760d, p.217). Para este científico sólo es válido construir hipótesis físicas cuando estas se encuentran sustentadas en propiedades naturales de los cuerpos. Por ejemplo, el *éter* es el medio que transmite la fuerza gravitacional en el espacio continuo, pero a su vez el origen de esta fuerza radica en una propiedad natural de los cuerpos denominada impenetrabilidad. Luego, la hipótesis del *éter* termina estando sustentada en la misma propiedad natural. Ahora bien, para Euler la atracción comprendida como una cualidad oculta o innata a la materia no es más que una hipótesis

sin ningún sustento físico, lo cual implica que no sea pertinente utilizarla para explicar el fenómeno de la gravitación.

En síntesis, para Euler la naturaleza de la fuerza gravitacional se encuentra en la impenetrabilidad de los cuerpos y, el agente que la transmite de un cuerpo a otro, en el espacio continuo, es el éter.

Encuentros y desencuentros: Newton vs Descartes y Euler sobre el fenómeno de la gravitación

La diferencia fundamental entre Descartes, Newton y Euler se encuentra en la forma en que conciben la fuerza.

Desde la perspectiva de Descartes la fuerza es el resultado de los choques que tienen entre sí las diferentes representaciones de la materia, así los remolinos celestes serían una consecuencia de la configuración que toma la materia celeste como resultado de los movimientos planetarios a través de ella. De ese modo los planetas afectan al movimiento de la materia celeste y esta organiza circularmente el movimiento de los planetas alrededor del Sol por su propiedad de actuar como un vórtice.

Para Newton la fuerza no tiene un fundamento físico relacionado con alguna propiedad de los cuerpos, es solo la magnitud de la fuerza la que depende de estas. Por ejemplo, la magnitud de la fuerza gravitacional entre el Sol y la Tierra depende de la masa que poseen ambos cuerpos celestes. Esta propiedad física sólo pone de manifiesto la magnitud de la fuerza gravitacional presente entre ellos, pero no es su origen físico, este no está definido por Newton en términos mecánicos, pero sí en términos teológicos. Newton cree que en un inicio Dios distribuyó a la materia en todo el universo y le otorgó la propiedad de atraerse así misma a grandes distancias, finalmente la dejó en libertad para que se organizara como la guén las interacciones entre las diferentes formas que esta asume (estrellas, planetas, cometas, satélites, entre otras). Desde sus planteamientos en ausencia del Sol, la Tierra y otros cuerpos celestes la fuerza gravitacional existe, o sea está dada *a priori*, esto es porque para Newton la atracción gravitacional no tiene origen propiamente en la materia sino en la Deidad que la creó.

Por su parte, Euler fundamenta el origen físico de la fuerza en una propiedad natural de los cuerpos que denomina impenetrabilidad, en virtud de la cual ningún cuerpo puede ocupar el lugar del otro en el espacio. Por ello cuando un cuerpo intenta penetrar a otros surgen fuerzas que los

obligan a cambiar su dirección de movimiento. Dado que, para Euler el espacio es un continuo y los cuerpos siempre están siendo chocados desde todas las direcciones posibles, la fuerza gravitacional se debe al choque constante de las impenetrabilidades de los diferentes cuerpos que habitan en el universo. Cabe entonces preguntarse, ¿por qué hay fuerza gravitacional entre el Sol y la Tierra si estos cuerpos celestes no se chocan? en términos de Euler lo que sucede es que el Sol le transmite al éter una fuerza, la cual hace que esta materia sutil se deforme de tal modo que obliga a la Tierra a tender hacia el Sol, provocando así el efecto gravitacional.

Puede decirse que Euler toma parte del esquema teórico de Descartes y le da mayor rigurosidad conceptual en el sentido en que toda hipótesis que construye para fundamentar su perspectiva se encarga de que esté fundamentada sobre una propiedad natural de los cuerpos, por ello cambia la hipótesis cartesiana de los vórtices o remolinos celestes pues carecía de esta exigencia. Lo nuevo que induce Euler al esquema cartesiano es que le da un estatus epistemológico al éter porque lo hace ser una consecuencia lógica de la impenetrabilidad, sin esta propiedad no hubiese cuerpos, luego la existencia de la materia le otorga a su vez la existencia al éter (Romero, 2007).

Por otro lado, Newton (1987) crítica a Descartes, sin mencionarlo directamente, para ello toma el ejemplo de la máquina del vacío construida por Boyle, se imagina que dentro de ella se deja caer una pluma y una pieza de oro, según él ambas caerían al mismo tiempo porque están en ausencia de aire, si existieran los remolinos o el éter esto no debería pasar así porque si esas hipótesis se asemejan a un fluido ambos cuerpos no podrían caer al mismo tiempo. Lo anterior, se encuentra consignado en el *Escolio General* de los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* (1987) así:

La hipótesis de los vórtices se ve acosada por muchas dificultades (...). Los proyectiles, en nuestra atmósfera, sufren únicamente la resistencia del aire. Suprimiendo el aire como Boyle, cesa la resistencia, de suerte que una leve pluma y el denso oro caen en este vacío con la misma velocidad. E igual es la cosa en los espacios celestes que están más allá de la atmósfera terrestre. Todos los cuerpos en estos espacios deben moverse con entera libertad; y por lo mismo los planetas y los cometas deberán girar perpetuamente según las leyes expuestas más arriba en órbitas de especie y posición dadas. (p.586)

En estos encuentros y diferencias entre las perspectivas de Descartes, Newton y Euler sobre el problema de la gravitación, es posible observar que, en la construcción del conocimiento científico, en este caso de la física, las bases epistemológicas y la idiosincrasia que tiene cada científico juegan un papel fundamental en la constitución de sus teorías. A través de este tipo de estudios el conocimiento disciplinar cobra un sentido especial para el docente porque le aporta insumos conceptuales, experimentales y metodológicos para contextualizar en sus prácticas de enseñanza a la ciencia como una práctica humana y discursiva. Humana porque se establecen vínculos sólidos entre las creencias personales de los científicos y sus explicaciones científicas, discursiva porque se comprende a la ciencia como un campo donde convergen muchos tipos de explicaciones lo que ocasiona que la objetividad reclamada por los positivistas se difumine.

Diseño Metodológico de la Investigación

En este capítulo se describen los aspectos metodológicos de la investigación. Se exponen el enfoque y el método que se eligió para el desarrollo de la investigación, el contexto donde se realizó, los criterios para la selección de los participantes, la fundamentación teórica de la propuesta didáctica que se utilizó como instrumento de indagación y por último se explica el plan que se llevó a cabo para analizar la información.

Enfoque y Método

A partir de las consideraciones teóricas y experienciales previamente expuestas, puede afirmarse que en esta investigación se buscó construir una propuesta didáctica fundamentada en reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia que permitiera a estudiantes del grado décimo construir explicaciones sobre el fenómeno de la gravitación y, a su vez, transformarlas al entrar en discusión con las explicaciones de sus demás compañeros y compañeras. En este sentido, la finalidad de esta investigación fue interpretar con base en un desarrollo teórico la interacción dialógica que emerge entre los estudiantes cuando se enfrentan con las actividades propuestas durante la implementación. Por lo anterior, la investigación se enmarca en el enfoque cualitativo porque no se pretendió generalizar ningún fenómeno, más bien se estudió un caso (grupo de estudiantes) en particular a

partir de las interpretaciones que los investigadores realizaron de la información recolectada en la implementación de la propuesta didáctica. El carácter interpretativo de las conclusiones implicó que estas no sean deterministas y estuvieran sujetas a un constante cambio en los procesos de triangulación y análisis de la información que llevaron a cabo los investigadores (Stake, 1999).

En este tipo de investigación el enfoque cualitativo cobra gran relevancia porque se buscaba apelar al conjunto de saberes previos que poseen los estudiantes a causa de su acervo cultural, para luego analizar la manera en que estos se transforman al entrar en debate con los planteamientos de sus demás compañeros y compañeras. Este proceso formativo fue realizado a través de actividades experimentales que contextualizan controversias históricas entre algunos de los modelos explicativos que han teorizado al fenómeno de la gravitación. Por consiguiente, las interpretaciones y explicaciones que compartieron los estudiantes fueron la materia prima desde la que los investigadores construyeron sus conclusiones. Estos planteamientos son coherentes con la caracterización de la investigación cualitativa que realizan Hernández et al. (2010) cuando mencionan que:

El proceso de indagación cualitativa es flexible y se mueve entre los eventos y su interpretación, entre los datos y el desarrollo de la teoría. Su propósito consiste en “reconstruir” la realidad tal y como la observan los actores de un sistema social previamente definido. A menudo se llama “holístico” porque se precisa de considerar el “todo”, sin reducirlo al estudio de sus partes (p.20).

Ahora bien, como la implementación se realizó con un grupo de estudiantes de la IECE, buscando interpretar la información que emerge de la interacción entre ellos durante la implementación de la propuesta didáctica, el método de investigación que se utilizó fue el estudio de caso. Sin embargo, estudiar a los participantes de manera individual no fue el fin de esta investigación, ellos al igual que la propuesta didáctica se convierten en instrumentos para recolectar información. Debido a lo anterior, esta investigación se enmarca en las características de un estudio de caso instrumental (Stake, 1999).

Contexto de la Investigación

La presente investigación se realizó en la Institución Educativa Comercial de Envigado la cual coincidió con la práctica pedagógica de los investigadores, esta condición contribuyó a que los investigadores estuvieran permeados por las dinámicas sociales del contexto, y a su vez, posibilitó que tuvieran un contacto fraterno con los estudiantes participantes de la investigación.

La Institución se encuentra ubicada en el barrio La Mina parte alta, en el municipio de Envigado, Antioquia; esta institución se ubica en la dirección Calle 41 Sur # 24C-71. Es una entidad oficial, adscrita a la Secretaría de Educación del municipio de Envigado. Cuenta con tres sedes: sede bachillerato, sede PÍO XII y sede San Rafael. Las cuales ofrecen educación desde preescolar hasta media académica y técnica con jornada única diurna.

El caso de investigación está compuesto por nueve estudiantes, cinco hombres y cuatro mujeres, cuyas edades oscilan entre los 14 y los 17 años. Por recomendación de la coordinadora académica se consolidó un semillero de física con la finalidad de que el desarrollo de la propuesta estuviera enmarcado en el mismo horario escolar. Además, se establecieron acuerdos con el maestro de física de la institución para que las actividades realizadas en el espacio del semillero fueran tenidas en cuenta como el seguimiento del estudiante en la clase de física para el segundo periodo del presente año.

Es menester destacar que, a pedido de las directivas de la institución la propuesta didáctica que se implementó en el semillero de física estuvo acorde con las exigencias que la IECE realiza en su Proyecto Educativo de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (Aguilar et al., 2017) respecto a que la enseñanza de las ciencias sea una excusa para la formación de ciudadanos críticos. En vista de las pocas propuestas de enseñanza que los investigadores encontraron en la institución para tal fin la propuesta didáctica que se implementó en el semillero de física fue adaptada en una cartilla (ver anexo a), esta se entregó a algunos estudiantes y maestros de ciencias naturales en la institución con el fin de dejar material didáctico que esté en armonía con la perspectiva de formación científica que defiende la IECE desde sus documentos rectores.

Criterios de selección de los participantes

La selección del grupo de los estudiantes se hizo en una convocatoria pública en el grupo de grado décimo con el que los investigadores habían tenido más tiempo de clase y oportunidades

para establecer relaciones pedagógicas. Al momento de invitar a los estudiantes se les comentó que el semillero de física iba a ser un espacio para la construcción colectiva de los conocimientos científicos, lo que implicaba participar en unas clases de física diferentes a las que tradicionalmente ellos han tenido durante su formación. Algunos estudiantes se animaron basados en sus experiencias durante las clases de los investigadores resaltando que en ellas la actividad experimental cobraba mucho sentido para entender los conceptos físicos. Aunque se buscó formar un grupo de doce estudiantes se encontraron diversas resistencias, por un lado, el maestro de física recomendaba no invitar a tantos estudiantes argumentando que se retrasarían en los contenidos del currículo, y por otro lado los estudiantes se encuentran en muchas actividades extracurriculares, por ejemplo, la media técnica, deportes y el ciclo de profundización. A pesar de estos inconvenientes se consiguió vincular a nueve estudiantes al semillero de física con el compromiso de que los investigadores debían reponer los contenidos de las clases de física en la que estos estaban ausentes, así mismo se buscaron construir acuerdos con los profesores y profesoras de las materias de lógica, estadística y matemáticas para que la participación de los estudiantes en el seminario se tuviera en cuenta como parte de las notas de seguimiento en estas materias y así hacerles un poco más fácil la estancia a los estudiantes en el semillero de física. A modo síntesis, podría decirse que los criterios de selección de los participantes fueron disponibilidad, comunicación asertiva y gusto por hacer experimentos.

Compromiso ético de la investigación

Debido a que, en la investigación participaron estudiantes menores de edad vinculados a una institución educativa en calidad de estudiantes se construyó un protocolo ético en donde se expuso a sus acudientes y a las directivas de la IECE las finalidades del proyecto de investigación. A su vez, se les solicitó a los estudiantes y a sus acudientes a través de un consentimiento informado otorgar el permiso a través de una firma para que los investigadores pudieran tomar grabaciones de audio y video, así como algunas evidencias fotográficas (ver anexo B). Una vez los estudiantes entregaron a los investigadores el consentimiento informado firmado por sus acudientes se dio inicio al semillero de física el cual constó de siete sesiones distribuidas entre los meses de abril y

mayo del 2023. A continuación, se muestra una imagen del protocolo ético de la investigación que se compartió con los acudientes de los estudiantes participantes en el semillero de física.

Figura 3

Protocolo ético de investigación



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SEMINARIO DE PRÁCTICA II
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN



Relaciones entre la historia, la filosofía y la epistemología de las ciencias con la enseñanza de las ciencias

Protocolo de compromiso ético y Consentimiento informado para participantes de investigación¹

Estimado padre de familia y estudiante:

Usted ha sido invitado a participar en el Proyecto de Investigación titulado *Reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación: una posible vía para generar procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo de una institución educativa pública en el municipio de Envigado* cuyos investigadores son los estudiantes Maribel Hoyos Valencia, Juan Camilo Echavarría Villa y Juan Pablo Acevedo Quevedo de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, bajo el acompañamiento de la profesora Yaneth Liliana Giraldo Suárez Profesora de Cátedra, en calidad de asesora.

El objetivo del estudio es: Analizar las posibles contribuciones de una propuesta didáctica en la que se plantean reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno a la fuerza gravitacional para la generación de procesos discursivos entre estudiantes de grado décimo de la Institución Educativa Comercial de Envigado. Dicho trabajo de investigación se realizará con la participación de los estudiantes de la Institución Educativa Comercial de Envigado, nos interesa conocer la manera en que algunas actividades experimentales centradas en la construcción histórica del fenómeno de la gravitación propician espacios para el dialogo, el debate, la validación de explicaciones y la construcción de acuerdos.

Procedimiento: En caso de aceptar la participación en esta investigación, usted se reunirá los martes con los investigadores durante 7 sesiones cada una de hora y media. Allí trabajará en grupos con los demás participantes discutiendo sobre diversas experiencias físicas relacionadas con el fenómeno de la gravitación. Tengan en cuenta que en este espacio no se le van a calificar sus aportes como malos o buenos. Más bien se busca mostrar a los estudiantes que la ciencia es una construcción humana y colectiva donde la multiplicidad de perspectivas siempre es bienvenida.

Si usted está de acuerdo, se realizarán registros fotográficos y se grabará en audio y video, con la única finalidad de tener registrada toda la información y poder analizarla.

Beneficios: En caso de participar de manera completa de las actividades propuestas, consideramos que como beneficios de dicho proceso está el desarrollo de una idea más completa del trabajo científico, el desarrollo de una lectura crítica y comprensiva que le posibilitará un mejor desempeño en las pruebas de estado y admisión a la universidad, el aprendizaje del fenómeno de la gravitación desde una perspectiva experimental, histórica y cotidiana, la construcción, defensa y validación colectiva de argumentos, el desarrollo de la escucha activa y el respeto a las ideas de los demás.

¹ Adaptación realizada con base en el informe del proceso de investigación de la Magister en Educación en Ciencias Naturales Natalia Muñoz Candamil. Facultad de Educación, Universidad de Antioquia.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SEMINARIO DE PRÁCTICA II
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN



Relaciones entre la historia, la filosofía y la epistemología de las ciencias con la enseñanza de las ciencias

Finalmente, la institución educativa de la cual usted hace parte se beneficia en cuanto a un aporte metodológico que supone el desarrollo de este tipo de actividades, dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física, que pueden seguir siendo aplicados y en dónde usted puede convertirse en un replicador de esta experiencia.

Confidencialidad / Devolución de la información: La información obtenida en el estudio será de carácter confidencial, y se guardará el anonimato. Esta información será utilizada únicamente por los estudiantes integrantes de la investigación, para el posterior desarrollo de informes y publicaciones en textos de divulgación y en revistas científicas. Para asegurar la confidencialidad de sus datos, Usted quedará identificado(a) con un número, o con un seudónimo, y no con su nombre, lo que garantizará el compromiso de los investigadores de no identificar las respuestas y opiniones de los participantes de modo personal.

Todos los análisis y resultados del estudio le serán dados a conocer en primera instancia a Usted, para su conocimiento y validación. Igualmente, una vez terminado el estudio, se hará un encuentro con todos los participantes para presentar los hallazgos y conclusiones; esto con la intención de recibir sus observaciones y sugerencias, las cuales serán tenidas en cuenta en el informe final.

Riesgos Potenciales/Compensación: Su participación en este estudio no involucra ningún riesgo o peligro para su salud física o mental. Los encuentros se realizarán en la misma institución con una participación de entre 6 a 12 personas y al comienzo de cada sesión se les recordará la importancia de respetar los puntos de vista y las creencias personales de los demás. Es importante precisar que usted no recibirá pago alguno por participar en el estudio, y tampoco tendrá costo alguno para usted, sin embargo, al hacer parte de su proceso de aprendizaje dentro del área de física, se tendrá en cuenta en la evaluación y valoración final que su profesor titular pueda otorgarle al finalizar el periodo escolar.

Participación Voluntaria/Retiro: Su participación en este estudio es voluntaria. Su decisión de participar o no, no afectará sus derechos como estudiantes de la Institución Educativa Comercial de Envigado. Si usted decide participar en este estudio, es libre de cambiar de opinión y retirarse en el momento que usted así lo quiera, sin recibir ningún tipo de sanción; en tal caso, la información que se haya recogido hasta la fecha será descartada y eliminada del estudio.

Datos de contacto

Cualquier pregunta que usted desee hacer durante el proceso de investigación podrá contactar a los estudiantes investigadores Maribel Hoyos Valencia, 3007839782, maribel.hoyos@udea.edu.co, Juan Camilo Echavarría Villa, 3124562932, juancamilo.echavarrial@udea.edu.co, Juan Pablo Acevedo Quevedo, 3177563227, juan.acevedo@udea.edu.co. Y a la profesora asesora de la investigación Yaneth Liliana Giraldo Suárez, 3235254346, yaneth.giraldo@udea.edu.co.

Agradecemos desde ya su colaboración, cordialmente:

Maribel Hoyos Valencia, Juan Camilo Echavarría Villa, Juan Pablo Acevedo Quevedo y Yaneth Liliana Giraldo Suárez.

Estrategias para el Registro de la Información

Dado que, en esta investigación se buscó interpretar las interacciones dialógicas que emergieron en la implementación de una propuesta didáctica se necesitaba utilizar una serie de estrategias que permitieran registrar de forma sistemática las participaciones que tuvieron los estudiantes en cada una de las propuestas. Según Stake (1999) el registro de la información es la columna vertebral de los estudios de caso, puesto que esta consiste en la materia prima a partir de la cual los investigadores harán los procesos de interpretación estableciendo un diálogo entre referentes teóricos, la evidencia empírica y sus diarios de campo. En términos de este autor “Durante la observación el investigador cualitativo en estudio de casos registra bien los acontecimientos para ofrecer una descripción relativamente incuestionable para posteriores análisis y el informe final” (Stake, 1999, p.61). Por lo anterior, como estrategias para el registro de la información se utilizaron: grabaciones de audio y video, diarios de campo y entrevistas semiestructuradas.

Desde la perspectiva de Monsalve y Pérez (2012) el diario de campo o pedagógico es un insumo que le permite al investigador consignar aspectos relevantes, impresiones e interpretaciones de las acciones llevadas a cabo por los participantes al momento de desarrollar las actividades. Es así como en esta investigación el diario de campo sirvió como un insumo para rescatar experiencias con la intención de resignificarlas, analizarlas y problematizarlas a la luz de los referentes teóricos previamente expuestos. De ahí que el diario de campo no sea una herramienta de carácter anecdótica, sino que este contribuye de forma empírica a clasificar y categorizar la información, lo que en última instancia posibilita un mejor análisis de esta.

Por su parte, la entrevista semiestructurada se usa para establecer un diálogo abierto y tranquilo con los participantes de una investigación buscando que estos respondan los cuestionamientos apelando a sus experiencias. Como instrumento para recolectar información en una investigación debe estar anclada a sus finalidades, es por esto que cada pregunta de la entrevista semiestructurada debe estar vinculada con alguna de las categorías de investigación, lo cual a su vez permite que la información extraída de ella sea de carácter relevante (Merlinsky, 2006). Por lo anterior, para el diseño de la entrevista semiestructurada aplicada en esta investigación se hizo énfasis en construir preguntas abiertas que permitieran a los estudiantes apelar a sus experiencias

previas en sus clases de física y las experiencias que tuvieron en el semillero de física. Esto permitió hacer visibles algunos cambios de perspectiva que tuvieron los estudiantes respecto al trabajo científico, la relación entre teoría y experiencia, el concepto de verdad científica y su autoconfianza para aprender física.

Sobre la Propuesta Didáctica

Consideraciones teóricas de la propuesta didáctica

La propuesta didáctica que se presentará a continuación fue construida bajo una perspectiva sociocultural de la enseñanza de las ciencias, esto implica reconocer la historicidad de los conceptos físicos y destacar el carácter no determinista de las explicaciones científicas (Ayala, 2006; Romero, 2013a; Acevedo et al., 2017). En ese sentido, todas las actividades propuestas están respaldadas por un análisis histórico crítico sobre el fenómeno de la gravitación en el que se destacan las controversias que se han generado a lo largo del tiempo entre las perspectivas teóricas de Descartes, Newton y Euler.

Dichas controversias no solo se encuentran en el plano epistemológico del corpus teórico de estos científicos, sino que además se relacionan con aspectos socioculturales que no se suelen tener en cuenta en las clases de ciencia, por ejemplo, la influencia de las creencias personales de los científicos en el desarrollo de sus teorías. En las épocas en que Descartes, Newton y Euler se desarrollaron la iglesia tenía una participación destacada en el saber cultural europeo, lo cual implicó que los científicos intentaran reconciliar sus teorías con la existencia de una deidad. Las reflexiones sobre estos aspectos también hacen parte de la ciencia (Acevedo y García, 2017) y en esta propuesta didáctica tienen un protagonismo importante pues se pretende que los estudiantes empiecen a ver la ciencia como una construcción humana, social y cultural (Feyerabend, 1986).

La mayoría de las sesiones de la propuesta didáctica están diseñadas de tal manera que los estudiantes se deban enfrentar con la construcción de explicaciones a partir de experiencias físicas y mentales relacionadas con el fenómeno de la gravitación. Por ello, es menester dejar claro que todas las situaciones experimentales sobre las que van a reflexionar los estudiantes fueron construidas con base en los postulados de la experimentación cualitativa, debido a esto no son tipo

receta ni obedecen a un resultado previamente establecido. Más bien los estudiantes a partir de su comprensión del fenómeno y con ayuda de algunos materiales deben construir sus propias representaciones de la experiencia en cuestión. De este modo teoría y experiencia no son dos aspectos de la ciencia aislados, sino que se complementan de forma dinámica estando presentes al mismo tiempo en los procesos de construcción del conocimiento científico (Ferreyros y Ordoñez, 2002). Así mismo, entendiendo que no hay aprendizaje de la ciencia sin un hablar sobre la ciencia todas las actividades se organizaron en colectivo buscando promover el debate abierto y respetuoso entre los estudiantes (Arcá et al., 1990).

Al principio de cada sesión del semillero de física se apeló a los conocimientos previos de los estudiantes a través de preguntas relacionadas con fenómenos físicos que involucran a la gravitación, en las actividades intermedias se intenta que estas ideas previas se expandan ofreciendo otras formas de ver dichos fenómenos, para lograr esto se leen junto con los estudiantes unas historias cortas donde se presentan tres personajes: Maribel, Camilo y Juan. Estos personajes son representados por niños curiosos apasionados a la ciencia, pero en el fondo cada uno de ellos hace las veces de Newton, Descartes y Euler, respectivamente. A través de las aventuras que tienen estos tres amigos los estudiantes conocen las posturas de dichos científicos acerca del origen de la gravitación y las explicaciones que brindaron sobre algunos fenómenos físicos relacionados con este concepto.

Es importante destacar que la idea de construir historias como herramienta didáctica para contextualizar controversias científicas en las clases de física es un insumo que se rescató de Acevedo et al. (2017), pues en su reporte de investigación concluyen que este tipo de historias permiten a los estudiantes conocer esa otra cara de la ciencia que usualmente se oculta de los currículos basados en contenidos específicos, esa ciencia que emerge como un fenómeno social, situada en un contexto y que no está oculta en un laboratorio, lejos de la comprensión de los estudiantes.

Teniendo en cuenta el momento político e histórico que atraviesa el país tras la instalación de la mesa de diálogo para la construcción de la paz entre el Gobierno Nacional y el Ejército de Liberación Nacional (ELN), se planeó usar una estrategia que fue nombrada *mesas de diálogo para la construcción de acuerdos*. Esta estrategia siempre se implementa en la parte final de cada una de las sesiones con el objetivo de que los estudiantes intenten llegar a un acuerdo sobre aspectos

controversiales que se hacen presentes en el desarrollo de las actividades, por ejemplo, la pertinencia de que un científico use la acción de una deidad en el mundo para construir explicaciones sobre la gravedad. La idea de formar mesas de diálogo también se encuentra basada en los planteamientos de Candela (2001) quien aboga por una enseñanza de las ciencias en la que se perciba a las diferentes perspectivas como una oportunidad para que los estudiantes construyan explicaciones a la vez que las transforman al intentar establecer consensos con los demás por medio del debate crítico.

Leitao y Cano (2016) comentan que el debate crítico no emerge solamente de plantear a los estudiantes preguntas o experimentos controversiales, aunque esto es importante solo es una parte del proceso, también se deben acondicionar los espacios para que la interlocución entre los estudiantes emerja de manera natural. Por lo anterior, en la implementación de la propuesta didáctica, específicamente en las mesas de diálogo, se acomodó a los estudiantes de tal forma que se vieran las caras y tuvieran el espacio suficiente para sentirse libres de expresar sus opiniones y perspectivas con tranquilidad. La siguiente imagen fue la mesa de diálogo para la construcción de acuerdos formada como actividad de cierre en la sexta sesión del semillero de física.

Figura 4

Mesa de diálogo para la construcción de acuerdos de la sesión 6 del semillero de física



Nota: la figura muestra la mesa diálogo realizada en la sesión seis del semillero de física.

Fuente: registro fotográfico de la implementación.

Al comienzo del semillero se había decidido que las mesas de diálogo estuvieran conformadas por sólo dos estudiantes quienes representaban a los dos grupos de trabajo que se conformaron con los nueve estudiantes, pero sesión tras sesión se notó que el resto de los estudiantes se dispersaba un poco mientras sus compañeros debatían, por ello en las últimas sesiones se tomó la decisión de que todos los integrantes de ambos grupos participaran en la mesa de diálogo.

En síntesis, las *mesas de diálogo para la construcción de acuerdos* se hacen con la finalidad de que los estudiantes aprendan a exponer sus explicaciones de forma clara y precisa, a tomar decisiones escuchando a todas las partes implicadas en la discusión y a tolerar la frustración. Habilidades que han sido fundamentales en la construcción del conocimiento científico y que resultan indispensables en la actualidad para formar ciudadanos (Candela, 2001; Hodson, 2013; Pearce, 2013).

Respecto a la organización de la propuesta didáctica se utilizaron los planteamientos de Diaz (2013) se considera que permiten organizar las actividades por orden de complejidad al tiempo que facilitan su evaluación. Este autor recomienda iniciar explorando los conocimientos previos que poseen los estudiantes a esto le llama actividades de apertura. Una vez superado este momento continúan las actividades de desarrollo que consisten en una contrastación entre las ideas previas de los estudiantes con los nuevos conocimientos que el maestro quiera introducir en sus clases. Finalmente se encuentran las actividades de cierre donde el estudiante se cuestiona sobre la transformación de sus ideas previas al enfrentarse a nuevas situaciones problema y a la toma de decisiones colectivas. Según Diaz (2013) esta organización se encuentra en armonía con el desarrollo cognitivo de los estudiantes pues toma como pilar sus ideas previas y ayuda a que estos las transformen poco a poco a través de ir aplicando los conocimientos adquiridos en situaciones cada vez más complejas. Lo cual también se relaciona con la tríada cíclica: experiencia, lenguaje y conocimiento construida por los investigadores Arcá et al. (1990) quienes proponen que en las clases de ciencias se guíe a los estudiantes para que emprendan sus propios caminos hacía una

colonización cognitiva a través de apelar a sus conocimientos previos y generando las condiciones para que los transformen a través del diálogo crítico.

Es importante resaltar que la idea de construir una propuesta didáctica sobre el fenómeno de la gravitación surgió porque los investigadores en sus prácticas pedagógicas evidenciaron una falta de material didáctico que permitiera abordar dicho concepto más allá de una aplicación sistemática de la ley de gravitación universal en la solución de ejercicios descontextualizados. En la mayoría de las ocasiones esta excesiva matematización de la física terminaba difuminando la participación de los estudiantes lo cual va en contravía del carácter discursivo de la dinámica científica. Aunado a esto, se piensa que es importante desarrollar propuestas de enseñanza en esta temática no sólo porque permite contextualizar el carácter provisional de las explicaciones científicas, sino también porque en los Derechos Básicos de Aprendizaje de Ciencias Naturales (MEN, 2015) solo aparece de manera implícita en el grado décimo en el tema de las diferencias entre la masa y el peso, y por su parte, en los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental (MEN, 2006) el fenómeno de la gravitación nuevamente se reduce a la manipulación algebraica de la ley de gravitación universal.

Para terminar, resulta importante destacar que la propuesta didáctica construida en esta investigación contó con un juicio de expertos por parte de maestros vinculados al grupo de investigación Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE) adscrito a la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, especialmente de los investigadores Ángel Enrique Romero Chacón y Diana María Rodríguez Ramírez. Adicionalmente, una primera versión de esta propuesta didáctica fue presentada en noviembre del 2022 en modalidad de Taller al Onceavo Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía (Ver anexo C). En este espacio de formación la propuesta didáctica recibió comentarios por parte de maestros investigadores vinculados a la Universidad del Valle y la Universidad Pedagógica Nacional lo cual contribuyó a realizar importantes mejoras y adecuaciones.

Viajando por el curioso mundo de la gravitación

La propuesta didáctica está conformada por siete sesiones orientadas al desarrollo de actividades experimentales, la interpretación crítica de textos, la construcción de explicaciones, la

exposición clara de las ideas y la construcción de acuerdos. Esto con la intención de posibilitar a los estudiantes participantes de la investigación el acercamiento al conocimiento científico desde una perspectiva sociocultural por medio de actividades que involucran aspectos controversiales (epistémicos y no epistémicos) entre algunas perspectivas científicas que han intentado explicar el fenómeno de la gravitación.

Las actividades de la propuesta didáctica están organizadas de la siguiente manera:

- Actividades de apertura en donde se busca conocer los saberes previos que poseen los estudiantes sobre algunos fenómenos físicos relacionados con la gravitación.

Figura 5

Ejemplo de actividad de apertura

Tomem la báscula digital y midan el peso de los integrantes de cada grupo en el primer, tercer y quinto piso de la institución educativa. Con base en esta experiencia llenen la siguiente tabla:

integrantes	Peso mientras el ascensor esta quieto	peso mientras el ascensor sube	peso mientras el ascensor baja
Integrante 1			
Integrante 2			
Integrante 3			
Integrante 4			
Integrante 5			

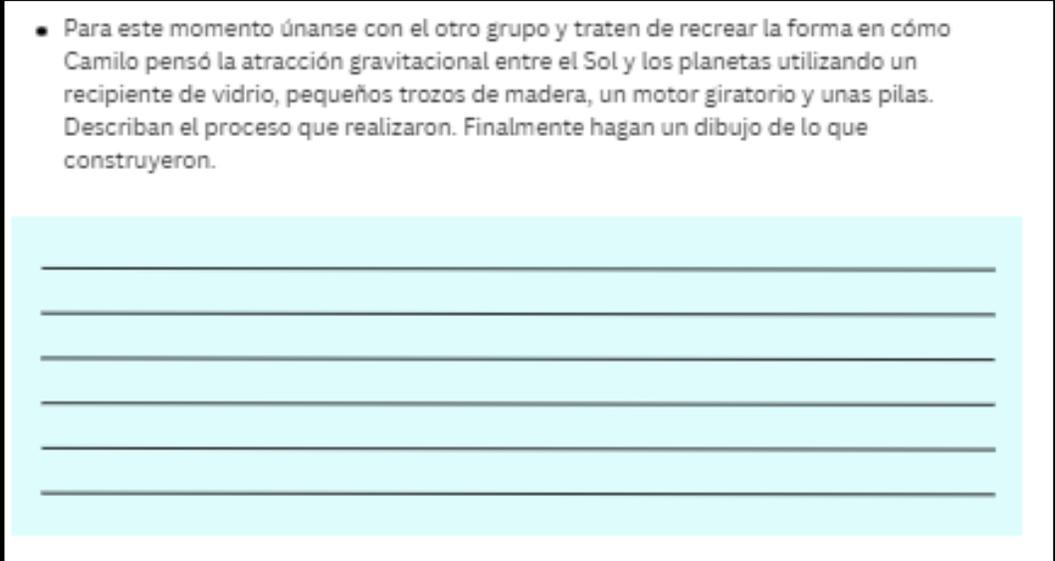
Nota. La figura muestra parte de la actividad de apertura de la sesión quinta del semillero de física. Fuente: propia.

- Actividades de desarrollo en donde a partir de una historia protagonizada por un grupo de amigos se introduce a los estudiantes los modelos explicativos de Descartes, Newton y Euler. Así mismo, en estas actividades se pretende que los estudiantes construyan algunos dispositivos experimentales que se mencionan en las historias lo cual fomenta una lectura crítica y comprensiva. Adicionalmente, estas actividades son consideradas como el espacio en donde los estudiantes

conectan nuevas perspectivas con sus ideas previas, lo que implica transformarlas de manera consciente y crítica.

Figura 6

Ejemplo de actividad de desarrollo



● Para este momento únanse con el otro grupo y traten de recrear la forma en cómo Camilo pensó la atracción gravitacional entre el Sol y los planetas utilizando un recipiente de vidrio, pequeños trozos de madera, un motor giratorio y unas pilas. Describan el proceso que realizaron. Finalmente hagan un dibujo de lo que construyeron.

Nota. La figura muestra parte de la actividad de desarrollo de la sesión tres del semillero de física. Fuente: propia.

- Actividades de cierre en donde se convoca a una mesa de diálogo para la construcción de acuerdos que tendrá un representante por equipo. La tarea de esta mesa será llegar a un acuerdo sobre aspectos controversiales que surgen durante el desarrollo de las actividades como, por ejemplo, la pertinencia o no de que un científico utilice la acción de una deidad en el mundo como justificación para construir explicaciones sobre la causa de la gravitación.

Figura 7

Ejemplo de actividad de cierre

Mesa de concertación para la construcción de acuerdos

- En este momento los grupos designaran a uno de sus integrantes como su representante que integrará la mesa de concertación. Luego el resto de los integrantes de los grupos leerán a los demás compañeros las cartas que construyeron para las princesas. Finalmente la tarea de la mesa de concertación será decidir y exponer de forma argumentada a los demás cuál es la carta que brinda mejores explicaciones para las princesas sobre las preguntas planteadas.

Nota. La figura muestra parte de la actividad de cierre de la cuarta sesión del semillero de física. Fuente: propia.

La primera sesión fue titulada *Preparando el cohete para iniciar el viaje por el curioso fenómeno de la gravitación*, allí se hizo énfasis en conocer las perspectivas que poseen los estudiantes sobre el conocimiento científico y sus procesos de validación. En la actividad de apertura se propusieron una serie de preguntas encaminadas a observar lo que piensan los estudiantes sobre qué es la ciencia, qué significa una verdad científica, para qué y por qué es importante aprender ciencia y cuál es el alcance formativo de tener una alfabetización científica adecuada. Por su parte en la actividad de desarrollo se les presentaron a los estudiantes algunos videos y lecturas de divulgación científica que resaltan el carácter cultural, discursivo, crítico y social de la dinámica científica. Una vez analizaron estos contenidos escritos y visuales se les pidió que reconsideren alguna de las preguntas que respondieron en la actividad de apertura estableciendo críticas con sus saberes previos. Finalmente, en la actividad de cierre los estudiantes participaron en una mesa de diálogo para la construcción de un acuerdo alrededor dos preguntas planteadas en la actividad apertura, a saber, qué es la ciencia y para qué aprender ciencia.

Continuando con la organización propuesta por Diaz (2013) se presenta la sesión dos que se titula *Estación uno: sumergidos en el mundo de Newton*. El objetivo principal de esta sesión fue introducir a los estudiantes en las explicaciones propuesta por Newton sobre la causa y la forma en cómo actúa la gravedad en los cuerpos. En la actividad de apertura se plantearon una serie de preguntas que apelaban a los conocimientos previos de los estudiantes sobre los movimientos de los planetas en el sistema solar, la relación ciencia-religión y la caída de los cuerpos en el planeta Tierra. En la actividad de desarrollo se buscó que los estudiantes a través de actividades relacionadas con la interpretación crítica de textos y de fragmentos históricos se enfrenten con los planteamientos de Newton sobre el movimiento de los planetas en el sistema solar y el origen de

la fuerza gravitacional. A la vez que reflexionaban sobre el papel de la experimentación en la construcción de conocimiento físico con base en el diseño de un artefacto que representa analógicamente al fenómeno de la acción a distancia. En la actividad de cierre, se estableció una mesa de concertación que incluía un representante de cada grupo. El propósito era que, a partir de las interpretaciones realizadas durante la sesión, los estudiantes llegaran a un posible acuerdo sobre la pertinencia de utilizar o no la acción de una deidad en el mundo para explicar la causa de la gravitación.

En una línea similar, la sesión tres recibió como título *Estación dos: sumergidos en el mundo de Descartes y Euler*. El objetivo principal de esta sesión fue introducir a los estudiantes en las explicaciones científicas, sobre la causa y la forma en cómo actúa la gravedad, propuestas por Descartes y Euler. La actividad de apertura se ambientó en un reino medieval que recibió como nombre Nueva Prusia, lo reyes de este lugar contrataron a los estudiantes en calidad de filósofos y filósofas naturales para que construyeran una nueva perspectiva de la gravedad diferente a la de Newton y con ella explicaran el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Ahora bien, en la actividad de desarrollo se buscó que los estudiantes a través de actividades relacionadas con la interpretación crítica de textos se acercaran a los planteamientos de Descartes y Euler sobre el movimiento de los planetas en el sistema solar y el origen de la fuerza gravitacional. A la vez que reflexionaban sobre el papel de la experimentación en la construcción del conocimiento científico con base en el diseño de dos artefactos que representaban las hipótesis (remolinos y éter) utilizadas por estos científicos para construir explicaciones sobre la forma en cómo actúa la gravedad. En la fase final de la actividad, se regresa al contexto del reino de Nueva Prusia. Los monarcas convocaron a todos los filósofos y filósofas naturales (estudiantes) con el objetivo de alcanzar una perspectiva común sobre la gravedad, basándose en las propuestas iniciales presentadas durante la actividad de apertura y las posteriores reformulaciones realizadas en las etapas de desarrollo.

Las sesiones cuatro y cinco tituladas *Estación tres: y al final, ¿de dónde surge la fuerza de gravedad?, ¿de los cuerpos o es externa a ellos?* y *Estación cuatro: ¿Qué pasa con nuestra masa y peso cuando bajamos y subimos por un ascensor?* Estuvieron enfocadas en utilizar las perspectivas de Descartes, Newton y Euler para explicar diferentes situaciones físicas y mentales que estaban relacionadas con el origen de la fuerza y la gravedad. Lejos de imponer explicaciones a los estudiantes lo que se buscaba era que estos tras un proceso de análisis y lectura establecieran

en un diálogo crítico con los planteamientos de los científicos, esto posibilitó que los estudiantes fueran conscientes de las nuevas ideas que formaron al entrar en debate con otras perspectivas diferentes a la propia.

Debido a lo anterior, en estas sesiones siempre se inició (actividad de apertura) con un proceso de experimentación exploratoria (física o mental) a través del cual se buscaba que los estudiantes construyeran explicaciones sobre la fenomenología en cuestión. Luego a partir de una historia (actividad de desarrollo) los estudiantes se acercaron a las explicaciones que desde el corpus teórico de los científicos se podrían dar sobre dichas experiencias y se les plantearon una serie de preguntas con el objetivo de mirar si después de la lectura los estudiantes modificaban sus primeras ideas. Finalmente, en las actividades de cierre se utilizó la estrategia de las mesas de diálogo con el objetivo de incentivar la construcción de acuerdos sobre cuáles son los modelos explicativos más pertinentes para comprender las experiencias físicas o mentales que se realizaron en las actividades de apertura.

Como sesiones finales del semillero de física se tuvieron la seis y la siete, tituladas *Estación cinco: explicar, escribir y comunicar para comprender el fenómeno de la gravitación* y *Estación final: última conversación en el semillero de física*, respectivamente.

La sesión seis fue de carácter conclusiva por ello se buscó que los estudiantes volvieran a enfrentarse con distintas preguntas y situaciones físicas que se habían planteado en las actividades anteriores. Inicialmente en la actividad de apertura cada grupo tuvo que construir conjuntamente una representación gráfica de la gravedad y debían justificar en qué aspectos dicha representación era similar o diferente a la que tenían antes de entrar al semillero. Así mismo, en la actividad inicial se les pidió a los grupos que construyeran una carta dirigida al otro equipo donde les explicaban sus perspectivas sobre algunas preguntas relacionadas con diferentes situaciones físicas abordados a lo largo del semillero. En la actividad de desarrollo los grupos intercambiaron los dibujos y las cartas, por un lado, debían interpretar la perspectiva sobre la gravedad que tenían los del otro grupo y por el otro debían evaluar las explicaciones expuestas en la carta a la luz de algunos criterios como, por ejemplo, la exposición clara de las ideas y el adecuado uso de la ortografía. Por último, en la actividad de cierre ambos grupos se sentaron en la mesa de diálogo para la construcción de acuerdos allí tuvieron que decidir cuál dibujo representaba de forma más adecuada a la gravedad y cuál fue la carta que respondió de forma más completa a los cuestionamientos planteados.

Finalmente, la sesión siete consistió en una entrevista semiestructurada con la que se buscaba observar la manera en cómo los estudiantes en el desarrollo de la propuesta transformaron sus perspectivas sobre el trabajo científico, la manera en que se validan los conocimientos científicos, la relación teoría y experiencia, el concepto de verdad en física y su autoconfianza para aprender física. A continuación, se muestra una tabla donde se encuentran las preguntas que guiaron la entrevista semiestructurada y su relación con las subcategorías de investigación que, si bien se expondrán con más profundidad un poco más adelante, desde el marco teórico estas ya se encuentran fundamentadas y delimitadas. Esto se hace con la intención de evidenciar la conexión de la entrevista semiestructurada con las finalidades de la investigación.

Tabla 2

Entrevista semiestructurada y su relación con las categorías de investigación

Categoría	Subcategoría	Preguntas
El carácter sociocultural de la práctica científica	El perspectivismo como característica natural a la construcción de conocimiento sobre el fenómeno de la gravitación	En la mesa de diálogo de la última sesión ustedes comentaban que no le daban la razón al otro equipo porque estaba en juego el orgullo personal. ¿Crees que el orgullo personal de los científicos ha influido en el desarrollo de la ciencia?
El carácter sociocultural de la práctica científica	La práctica científica como una actividad humana	La física es un conjunto de conocimientos objetivos y verdaderos que no están relacionados con las posturas religiosas y filosóficas de las personas. ¿Qué opinas respecto a esta afirmación? Ten en cuenta lo aprendido en el semillero.
		Durante el semillero, en muchas ocasiones ustedes exigían que les contáramos la verdad sobre la gravedad, ¿A qué se referían con ello?, ¿las explicaciones que ustedes construyeron hacen parte de esa verdad?
Experimentación cualitativa exploratoria	Construcción y defensa de explicaciones colectivas	Podrías por favor realizar un paralelo o una comparación sobre la experimentación a la que estabas acostumbrado en las clases de física y la experimentación que realizamos en el semillero.

Experimentación cualitativa exploratoria	Validación de explicaciones y flexibilidad de pensamiento	Aprender física es un proceso que no acepta errores, ni permite reconsiderar las explicaciones que construimos con base en nuestros experimentos. ¿Qué opinas respecto a esta afirmación? Ten en cuenta las experiencias en el semillero.
--	---	---

Nota. La tabla es una construcción propia.

Plan de Análisis

Como estrategia para la organización y el estudio de la información recolectada en la implementación de la propuesta didáctica se realizó un análisis de contenido. El cual desde la perspectiva de Piñuel (2002) consiste en un:

(...) conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos (mensajes, textos o discursos) que proceden de procesos singulares de comunicación previamente registrados, y que, basados en técnicas de medida, a veces cuantitativas (estadísticas basadas en el recuento de unidades), a veces cualitativas (lógicas basadas en la combinación de categorías) tienen por objeto elaborar y procesar datos relevantes sobre las condiciones mismas en que se han producido aquellos textos, o sobre la condiciones que puedan darse para su empleo posterior. (p.7)

En este sentido, resulta importante destacar que para este autor la información no se encuentra encerrada en los materiales que se utilizaron para recolectarla, sino que más bien, emerge a partir de la interpretación que hacen los investigadores sobre los actos comunicativos generados en su trabajo de campo. Dicha interpretación no es aleatoria ni todos los actos comunicativos son útiles, por ello tanto la interpretación como la selección de estos debe estar atada al problema de investigación, a los objetivos de la investigación y a los referentes teóricos utilizados, pues de lo contrario el trabajo investigativo carecería de coherencia interna (Cisterna, 2005). En consecuencia, es necesario definir una estrategia que permita organizar y clasificar la información con la intención de darle una mayor credibilidad a la investigación,

Los tipos de análisis de contenido utilizados para organizar y clasificar la información fueron: análisis de contenido según la selección de la comunicación estudiada y según la selección de categorías (Piñuel, 2002).

En un primer momento, se procedió a transcribir todos los actos comunicativos que sucedieron en cada una de las actividades implementadas en las sesiones del semillero de física, así mismo, se escanearon las producciones escritas elaboradas por los estudiantes. Todas estas fuentes de información junto con algunas evidencias fotográficas fueron guardadas en carpetas de Google Drive clasificándolas, dependiendo de la sesión de la propuesta didáctica de donde fueron extraídas.

Es importante mencionar que con la intención de organizar los discursos de los estudiantes y respetar su anonimato en la transcripción de las grabaciones de audio se utilizaron las siguientes convenciones:

Tabla 3

Convenciones para las transcripciones de las discusiones de los estudiantes en las sesiones del semillero de física

Participantes	Convenciones
Participante 1	E1
Participante 2	E2
Participante 3	E3
Participante 4	E4
Participante 5	E5
Participante 6	E6
Participante 7	E7
Participante 8	E8
Participante 9	E9

Nota. La tabla es una construcción propia.

Una vez se organizó la información fue necesario clasificarla a partir de una estrategia que permitiera darle coherencia interna a la investigación. Para llevar a cabo este proceso se diseñó una red de categorías, subcategorías e indicios de investigación (ver tabla 4), la cual estaba ligada al problema de investigación, a los objetivos de investigación y al marco teórico. Desde los planteamientos de Cisterna (2005), las categorías de investigación describen las temáticas generales de la investigación, mientras que, las subcategorías desglosan dichas temáticas en aspectos teóricos más específicos. A continuación, se muestra la red de categorías, subcategorías e indicios construida para esta investigación.

Tabla 4

Red de categorías, subcategorías e indicios de investigación

Categorías	Subcategorías	Indicios
La práctica científica desde una perspectiva sociocultural	El perspectivismo como característica inherente a la construcción de conocimiento sobre el fenómeno de la gravitación	Conciben a la gravedad como una propiedad natural de la materia o como el efecto impuesto por un mecanismo externo a los cuerpos.
		Reconocen que el origen de la gravedad es un asunto problemático de difícil solución cuya explicación no obedece a una única perspectiva. Y aunque asuman alguna de ellas son conscientes de que eso no elimina la posible certeza de las otras.
	La práctica científica como actividad humana	Reconocen que si bien algunas ideas científicas están relacionadas con las creencias personales de quien las construyó, este hecho no les quita su posible veracidad.
		A pesar de las dificultades se superan evidenciando que el trabajo científico es una actividad abierta para todas y todos.
Experimentación cualitativa exploratoria	Construcción y defensa de explicaciones científicas	Construyen dispositivos experimentales y los usan como punto de apoyo para justificar o defender sus explicaciones sobre situaciones físicas relacionadas con el fenómeno de la gravitación.
		Conciben a la experimentación como un proceso que más allá de verificar una teoría revela la complejidad de construir modelos, explicaciones y acuerdos sobre los fenómenos que suceden en un mundo natural construido socialmente.
	Validación colectiva de explicaciones y flexibilidad de pensamiento	Examinan de forma constante sus explicaciones con la finalidad de modificar su postura o mantenerla
		Al momento de construir consensos tienen en cuenta las explicaciones de todas las partes involucradas estando dispuestos a modificar sus planteamientos para llegar a un acuerdo con las explicaciones de los demás.

Nota. Los diferentes colores expuestos en la tabla están relacionados con las subcategorías e indicios que serán analizados en el siguiente capítulo a partir de unidades de análisis. La tabla es una construcción propia.

En este caso, las categorías de investigación son: la práctica científica desde una perspectiva sociocultural y la experimentación cualitativa exploratoria. Y las subcategorías de investigación son: (1) el perspectivismo como característica inherente a la construcción de conocimiento sobre el fenómeno de la gravitación, (2) la práctica científica como actividad humana, (3) construcción y defensa de explicaciones científicas, (4) validación colectiva de explicaciones y flexibilidad de pensamiento.

En la primera categoría, se contextualizan a través de experimentos, discusiones y debates las perspectivas teóricas de Descartes, Newton y Euler sobre la gravitación estableciendo vínculos entre las hipótesis que construyeron estos científicos para brindar explicaciones en relación con el origen de este fenómeno y sus creencias personales. Así mismo, se generan espacios para que los estudiantes tomen la palabra y se sientan partícipes de la construcción de explicaciones en torno a situaciones físicas relacionadas con la gravitación.

En la segunda categoría, se contextualiza a la experimentación cualitativa exploratoria como un medio que permite generar espacios de discusión en donde los estudiantes tienen la oportunidad de convencer y dejarse convencer por sus interlocutores siempre que les proporcionen buenas razones para hacerlo.

La profundización teórica en torno a las subcategorías de investigación se realizará en el siguiente capítulo con la intención de propiciar al lector una mejor comprensión de los resultados de investigación.

Según Cisterna (2005), la delimitación de categorías, subcategorías e indicios es fundamental para los investigadores novatos pues permiten distinguir de forma confiable la información que sirve de la que no. Para seleccionar la información de forma adecuada este autor propone dos criterios: la pertinencia y la relevancia. El primero se refiere a que solo es prudente tomar como información aquello que está relacionado con los objetivos de la investigación y el segundo se relaciona con la recurrencia en que aparece una información.

En ese sentido, una vez se clasificó la información (transcripciones, videos, producciones escritas y diarios de campo) de acuerdo con la red de subcategorías e indicios, se procedió a construir las unidades de análisis a través de una matriz de análisis de información (ver tabla 5), lo cual permitió decantar nuevamente los actos comunicativos construidos por los estudiantes en correspondencia con el problema de investigación, los objetivos y el marco teórico. A continuación, se muestra un ejemplo de las unidades de análisis construidas para clasificar la información recolectada.

Tabla 5

Relación entre las categorías y las subcategorías de investigación con las unidades de análisis

Categoría	Subcategoría	Indicio	Ejemplo de unidad de análisis
Experimentación cualitativa exploratoria	Construcción y defensa de explicaciones científicas	Conciben a la experimentación como un proceso que más allá de verificar una teoría revela la complejidad de construir modelos, explicaciones y acuerdos sobre los fenómenos que suceden en un mundo natural construido socialmente.	<p><i>Experiencias de los estudiantes sobre la experiencia del ascensor realizada en la sesión 5(S5)</i></p> <p>E5: en el caso del ascensor fue todo un descontrol, un caos, porque todos quedamos como, ¿por qué?, ¿cómo así?, ¿qué pasó? todos los hicimos igual, como decíamos con E4, es que él tuvo un peso más, porque un profesor se montó también en el ascensor, pero vea que, al otro grupo, a otros dos les dio distinto, y a nosotros tres por qué (habla de los integrantes del G1 excepto E4) nos dio igual, uno se cuestiona mucho, ahí sí se puede decir, es que, si falla, no siempre pero sí.</p> <p>E2: (...) la del ascensor a mí personalmente, o sea, la explicación, por así decirlo, digamos la verdad más aceptada que era que cuando baja el ascensor baja el peso y cuando sube el ascensor sube de peso. Antes de hacer el experimento, yo pensaba eso, que si el ascensor subía íbamos a pesar más, pero entonces al final con el experimento, o sea, a mí me dio un resultado diferente al que se suponía que tenía que dar, entonces no sé cómo que, no sé se me cruzaron los cables porque no le encontraba lógica, no le encontraba sentido</p>

Nota. Las transcripciones que representan información significativa en relación con los indicios de las subcategorías se eligen para conformar las unidades de análisis. La tabla es una construcción propia.

Por último, con la intención de construir los hallazgos de la investigación se hizo un proceso de triangulación de la información, el cual es entendido como “(...) la acción de reunión y cruce dialéctico de toda la información pertinente al objeto de estudio surgida en una investigación por medio de los instrumentos correspondientes, y que en esencia constituye el corpus de resultados de una investigación” (Cisterna, 2005, p. 68).

Aunque existen varias estrategias para la triangulación de la información en esta investigación se utilizaron tres, a saber: triangulación por estamento, triangulación entre las diversas fuentes de información y triangulación con el marco teórico.

Respecto a la primera estrategia de triangulación Cisterna (2005) comenta que esta consiste en clasificar a las unidades de análisis según el instrumento en donde emergieron. En este caso, los instrumentos fueron las diferentes sesiones de la propuesta didáctica que fue implementada en el semillero de física. Una vez realizada esta clasificación se procedió a analizar la forma en cómo las diferentes fuentes de información (unidades de análisis, vídeos, fotografías, escritos, dibujos) daban cuenta del desarrollo de los indicios correspondientes a cada subcategoría de la investigación. Esto permitió tener un panorama más claro respecto a las contribuciones de cada una de las sesiones de la propuesta didáctica para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

En ocasiones durante el análisis de la información fue necesario estudiar la recurrencia de ciertas actitudes, perspectivas y sentires que los estudiantes manifestaron en diferentes sesiones del semillero de física. Por ejemplo, en la sesión 1 (S1) E1 manifestó que se sentía como un *mosco en sopa*, pero luego en la sesión 4 (S4) planteó importantes cuestionamientos a su grupo sobre un experimento mental que la mayoría de sus integrantes creían haberlo entendido por completo, evidenciado así una toma de confianza por parte de la estudiante, y finalmente cuando se le preguntó en la entrevista semiestructurada sobre su experiencia en el semillero de física expresó que por primera vez se había acercado de forma experiencial a la comprensión de un concepto físico. De forma similar, cuando se les preguntó a los estudiantes en la entrevista semiestructurada sobre la experiencia que tuvieron con el ascensor del colegio en la sesión 5 (S5), muchos de ellos manifestaron una sorpresa e incomodidad porque no pensaban que la experiencia o más bien los datos obtenidos por la pesa digital al bajar y subir por el ascensor no iban a estar acordes con lo que según ellos teóricamente debía pasar, esto permitió darle una mayor credibilidad a los diarios

de campo contruidos por los investigadores en relación con los acontecimientos de la S5. Lo expuesto anteriormente, se corresponde según Cisterna (2005) con una triangulación entre las diversas fuentes de información.

Adicionalmente, se realizó una triangulación con el marco teórico, esta fue transversal a todo el análisis de la información, puesto que este último se hizo con base en la construcción de una red de categorías, subcategorías e indicios, la cual a su vez se encontraba vinculada al problema de investigación, a los objetivos y a los referentes teóricos garantizando así una coherencia interna en el trabajo de investigación. Respecto a este tipo de triangulación Cisterna (2005) menciona que:

Como acción de revisión y discusión reflexiva de la literatura especializada, actualizada y pertinente sobre la temática abordada, es indispensable que el marco teórico no se quede solo como un enmarcamiento bibliográfico, sino que sea otra fuente esencial para el proceso de construcción de conocimiento que toda investigación debe aportar. (p. 69)

Figura 8

Triangulación entre subcategorías e instrumentos para la recolección de información



Nota. La figura muestra el proceso mediante el cual se hizo la triangulación entre las subcategorías, las sesiones de la propuesta didáctica y los diferentes materiales para la recolección de la información. Fuente; construcción propia.

Hallazgos y Análisis

En este capítulo se presentan los hallazgos de la investigación, obtenidos a partir del análisis de la información recolectada en la implementación de la propuesta didáctica en el semillero de física. En este proceso, los estudiantes oficiaron como casos y fueron codificados como: E1, E2, E3, E5, E6, E7, E8 y E9. Dado que, en el semillero se pretendía generar las condiciones para el trabajo en equipo y el intercambio crítico de ideas los estudiantes en cada sesión se organizaron en dos grupos, los cuales fueron codificados como: G1 y G2. El grupo G1 estuvo conformado por: E1, E2, E3, E4, E5 y el grupo G2 por: E6, E7, E8 y E9. En algunas sesiones la estructura de los grupos cambió levemente debido a la ausencia de algún integrante, es por esto que cuando se analicen dichas sesiones se aclara en un pie de página quienes conformaron ambos grupos. Por su parte, los investigadores fueron codificados como: I1 e I2.

La Práctica Científica desde una Perspectiva Sociocultural

El perspectivismo como característica inherente a la construcción de conocimiento sobre el fenómeno de la gravitación

En esta subcategoría, se estudiaron de forma sistemática los materiales para la recolección de la información de aquellas sesiones que estuvieron orientadas a la generación de discusiones colectivas alrededor de situaciones físicas relacionadas con el origen físico del fenómeno de la gravitación y la forma en cómo éste actúa en los cuerpos. Como estrategia para ilustrar a los estudiantes diferentes formas de explicar las situaciones físicas abordadas se utilizaron las historias que cumplían el papel de contextualizar las perspectivas de Newton, Descartes y Euler sobre el fenómeno de la gravitación. En la enseñanza de la física esto resulta bastante importante dado que las controversias permiten, por un lado, mostrar a los estudiantes diferentes maneras de organizar,

explicar y teorizar fenómenos físicos y por el otro, posibilitan contextualizar en las aulas de clase una física que se caracteriza por ser plural y abierta al cambio (Matthews, 2012; Pearce, 2013; Romero, 2013a).

Los indicios correspondientes a esta subcategoría se evidencian cuando los estudiantes:

- Conciben a la gravedad como una propiedad natural de la materia o como el efecto impuesto por un mecanismo externo a los cuerpos.
- Reconocen que el origen de la gravedad es un asunto problemático de difícil solución cuya explicación no obedece a una única perspectiva. Y aunque asuman alguna de ellas son conscientes de que eso no elimina la posible certeza de las otras.

Aunque podría decirse que la mayoría de los encuentros del semillero de física estuvieron enfocados en resaltar diferentes modos de explicar situaciones físicas relacionadas con el fenómeno de la gravitación esto se consiguió con mayor claridad en la sesión 4 (S4). Lo anterior, no es gratuito pues según la organización de la propuesta didáctica para dichas sesiones los estudiantes ya se habían acercado a las perspectivas de Newton, Euler y Descartes, lo cual les aportaba mayores herramientas conceptuales y experimentales para justificar sus explicaciones. A continuación, se expondrá con apoyo de algunos materiales utilizados para la recolección de información la manera en que durante dichas sesiones se hicieron manifiestos los indicios relacionados con esta subcategoría.

La S4 fue titulada *Tercera estación: y al final, ¿de dónde surge la gravedad?, ¿de los cuerpos o es externa a ellos?* la cual tuvo como objetivo promover en los estudiantes la construcción de explicaciones sobre el origen de la fuerza gravitacional y la forma en cómo actúa en el movimiento de los cuerpos celestes.

La actividad de apertura inició con el siguiente experimento mental: supongan por un momento que la Tierra y el Sol se encuentran aisladas en un mundo paralelo donde solo existen estos dos cuerpos celestes. Así mismo, imaginen que en ese mundo la Tierra sigue la misma órbita que normalmente presenta alrededor del Sol, además los cuerpos que habitan en él tienden a desaparecer misteriosamente, tal es el caso del Sol. A partir de esta experiencia mental se les planteó una serie de preguntas las cuales estaban relacionadas con los siguientes cuestionamientos: qué sucedería con el movimiento de la Tierra cuando el Sol desaparece, qué sería posible afirmar

sobre la fuerza gravitacional que estaba presente entre ambos cuerpos y si la fuerza gravitacional es una propiedad natural de los cuerpos o si es impuesta a estos por un mecanismo externo.

Respecto al origen del fenómeno de la gravitación ambos grupos (G1⁷ y G2⁸) comentaron que se encontraba en la materia como si fuera una propiedad natural de esta. Por lo cual, también coinciden en que en un mundo donde solo existiera el sistema Tierra - Sol una vez desapareciera este último, la fuerza gravitacional presente entre ambos cuerpos celestes también lo haría. Así mismo, coinciden en que, en ausencia del Sol, la Tierra abandona su movimiento traslacional o más bien su órbita. Lo anterior, puede evidenciarse en las siguientes figuras donde aparecen consignadas las respuestas de los grupos G1 y G2 a estos cuestionamientos.

Figura 9

Respuestas del G1 sobre algunos de los cuestionamientos planteados en la actividad de apertura de la S4

▪ ¿Qué podría decirse sobre el movimiento de la Tierra?, ¿cambia?, ¿de qué forma? o ¿se mantiene igual? Justifiquen su respuesta

se mantiene igual con excepción de su órbita ya que no hay una fuerza que genere la órbita como lo es el sol.

▪ ¿Qué es posible afirmar sobre la fuerza gravitacional presente entre el Tierra y el Sol una vez que este último desaparece?, ¿desaparece también la fuerza?, ¿por qué?, en caso de que no, ¿Cómo podría comprobarse que sigue allí? Justifiquen su respuesta.

se desaparece la fuerza ya que esta fuerza es generada por la materia que tiene un cuerpo

⁷ En la sesión 4 del semillero de física el grupo 1 estuvo conformado por E1, E3, E4 y E5.

⁸ En la sesión 4 del semillero de física el grupo 2 estuvo conformado por E2, E7, E8 y E9.

Nota. La figura muestra las respuestas del G1 a algunos de los cuestionamientos planteados en la actividad de apertura de la S4. Fuente: material de las implementaciones.

Figura 10

Respuestas del G2 sobre algunos de los cuestionamientos planteados en la actividad de apertura de la S4

■ ¿Qué podría decirse sobre el movimiento de la Tierra?, ¿cambia?, ¿de qué forma? o ¿se mantiene igual? Justifiquen su respuesta

El movimiento de traslación se anularía pero el de rotación se mantendría

■ ¿Qué es posible afirmar sobre la fuerza gravitacional presente entre el Tierra y el Sol una vez que este último desaparece?, ¿desaparece también la fuerza?, ¿por qué?, en caso de que no, ¿Cómo podría comprobarse que sigue allí? Justifiquen su respuesta.

No había fuerza gravitacional porque la tierra no estaría atraída a nada

Nota. La figura muestra las respuestas del G2 a algunos de los cuestionamientos planteados en la actividad de apertura de la S4. Fuente: material de las implementaciones.

La actividad de desarrollo se dividió en dos momentos: en el primer momento se leyó conjuntamente una historia donde se exponían a través de las aventuras de dos amigos llamados Maribel y Juan algunas perspectivas de Newton y Euler sobre las preguntas previamente abordadas,

por su parte, en el segundo momento se les propuso que se imaginaran como unos filósofos naturales que fueron contratados por los reyes de una nación para escribir una carta a sus hijas explicándoles las preguntas abordadas en la actividad de apertura. Dicha carta, además de poner a prueba las habilidades de los estudiantes para compartir sus ideas de forma escrita, también se hizo con la intención de que ellos reflexionaran sobre algunas preguntas que en su momento se hicieron personajes como Descartes, Newton o Euler en sus procesos de construir sus teorías sobre el fenómeno de la gravitación.

La lectura de la historia permitió que los estudiantes reflexionaran un poco más sobre sus respuestas iniciales lo cual contribuyó a que construyeran sus razonamientos de una mejor manera.

En el G1 hubo una reestructuración en la respuesta sobre qué sucedería con el movimiento de la Tierra una vez que el Sol desapareciera. Aunque en un principio hubo una aparente unanimidad sobre el hecho de que la Tierra abandonaría su órbita original, cuando estaban redactando la carta para las princesas tuvieron una discusión bastante interesante. E3 insistía en que luego de desaparecer el Sol, la Tierra se debía seguir moviendo en línea recta, para ilustrar su planteamiento amarró un borrador a un hilo y luego empezó a girarlo rápidamente, en un momento el borrador salió disparado, según E3 esto mismo le sucedería a la Tierra al no estar forzada por el Sol a continuar su órbita. Aunque E5 también apoyaba a E3, E1 y E4 le comentan que en esas condiciones lo único que podría decirse sobre la Tierra es que quedaría flotando en el espacio porque realmente no hay nada con respecto a qué medir su movimiento, por lo que no es posible afirmar cómo se termina comportando espacialmente este cuerpo celeste. Finalmente, los integrantes del G1 se logran poner de acuerdo sobre la imposibilidad de predecir cómo se movería la Tierra una vez que el Sol desaparezca. Esto aparece consignado en la siguiente transcripción de la participación del G1 en la S4.

E1: Si en un universo donde solo existe la Tierra y el Sol, llegara a desaparecer el sol...

E3: La Tierra seguiría en línea recta...

E4: Y usted cómo sabe que sigue en línea recta, si solo existe el sol y desaparece, entonces usted...

E1: Pero es que venga, al desaparecer el sol, ¿no desaparece la gravedad?

E3: La gravedad que hay alrededor del sol sí.

E1: Pero es que la gravedad que tiene el sol, ¿no es la que hace que el planeta gire?

E4: Voy a tomar aire -se encuentra malhumorado porque sus compañeros no tienen en cuenta lo que dice-

E5: Por eso, sigue en línea recta, porque no tiene gravedad.

E1: Pero no seguiría en línea recta, flotaría.

E4: Eso es lo que dije yo ahorita y ahorita me estaban diciendo que no. Siempre al final pasa...

E1: Sí, no seguiría en línea recta porque usted no tiene cómo asegurar que él sigue en línea recta solo flota y ya.

E4: Es lo que yo estaba diciendo ahorita y usted me dijo de las coordenadas, y usted está diciendo línea recta.

E3: Mire, la Tierra lleva un giro alrededor del sol, está girando, si yo lo suelto él sigue derecho -se ríe porque el objeto que estaba manipulando para demostrar al grupo su argumento sale volando y lastima un poco a alguien del grupo-.

E1: Por eso, pero en algún punto va a tener que parar y va a flotar, no toda la vida va a seguir derecho.

E3: En la Tierra las cosas paran porque hay fricción del objeto con el aire o porque el objeto se choca con otra cosa, en el espacio no hay fricción, no hay aire, no hay nada, entonces la Tierra no se frena, sigue derecho.

E1: Yo digo que la Tierra flota, pero bueno...

E5: Entonces ponga, opinión de E3 sigue derecho, de E1 flota...

E4: Tenemos que llegar a un acuerdo, tenemos que llegar a un acuerdo porque es una carta.

E1: Flota, la Tierra flota.

E3: Pongamos que solo hay dos objetos el Sol y la Tierra, si el sol desaparece la Tierra queda ahí y pareciera que flotara, pero porque no hay un punto de referencia claro.

E4: A bueno entonces sí, escriba lo que está diciendo ahí.

E1: La Tierra queda flotando, ¿usted tiene forma de decir o sí tiene forma de ver que la Tierra va en línea recta? Usted no tiene forma de ver eso.

E4: Exacto, estoy de acuerdo con E1, porque usted ahorita me dijo que la Tierra sigue en línea recta... (cuestiona a E4).

E3: Pero ahí se lo acepto porque solo hay dos cuerpos, la Tierra y el Sol.

E1: ¡El sol ya no está! Está solo la Tierra, queda flotando, usted no tiene forma de decir que la Tierra va a salir así derecho, va a seguir derecho, en algún tiempo va a tener que parar y va a... O sea, le acepto que la Tierra va a seguir derecho, pero en algún momento va a tener que flotar y no seguir derecho.

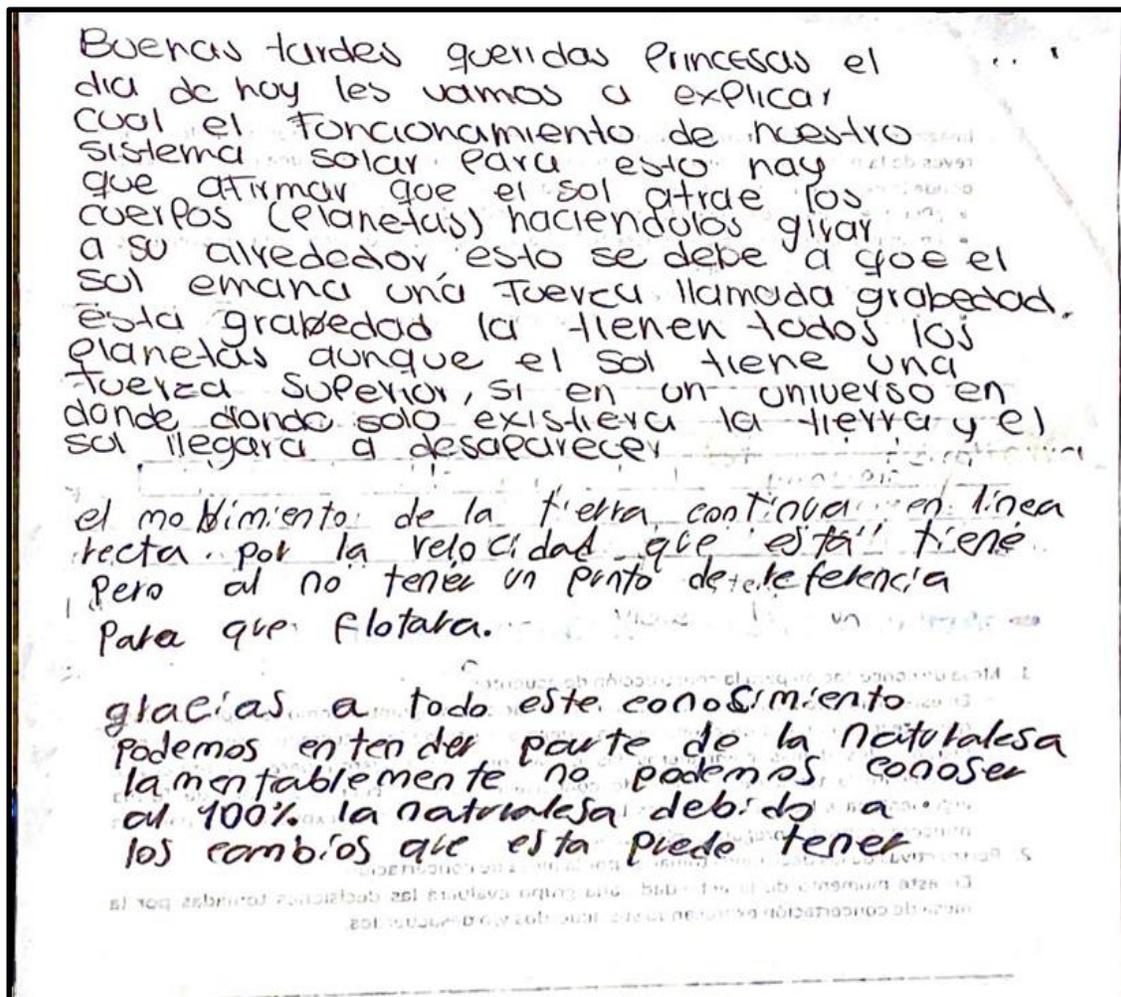
E5: No cae, no sube, no flota, sino que queda en su mismo estado. Lo que yo estaba diciendo ahorita, estás dando mi punto de vista, gracias.

E3: A partir de ahora, E1 y E5 van a dirigir este grupo. (Reconoce que sus compañeros tenían buenas explicaciones).

El cuestionamiento insistente de E1 y E4 logra inducir cambios en los planteamientos que había sostenido G1 desde la actividad de apertura, esto muestra que las diferentes perspectivas son naturales al trabajo científico, a la labor de ser filósofos naturales. Y además que, tener múltiples miradas aparentemente contrarias sobre un problema permite a los estudiantes construir nuevas perspectivas de análisis o mejorar las que tenían previamente, lo que a su vez contribuye a generar un mejor aprendizaje en los estudiantes (Matthews, 2012; Pearce, 2013; Romero, 2013a). La carta realizada por G1 a las princesas se presenta en la siguiente figura, en esta comunicación se trató de consignar el acuerdo que estableció el grupo sobre el posible movimiento de la Tierra una vez se desapareciera el Sol, allí escribieron que: *la Tierra continúa su movimiento en línea recta pero que al no tener un punto referencia parece que flotara.*

Figura 11

Carta a las princesas del G1 en la S4



Nota. La figura muestra la carta a las princesas realizada por G1 en la S4.

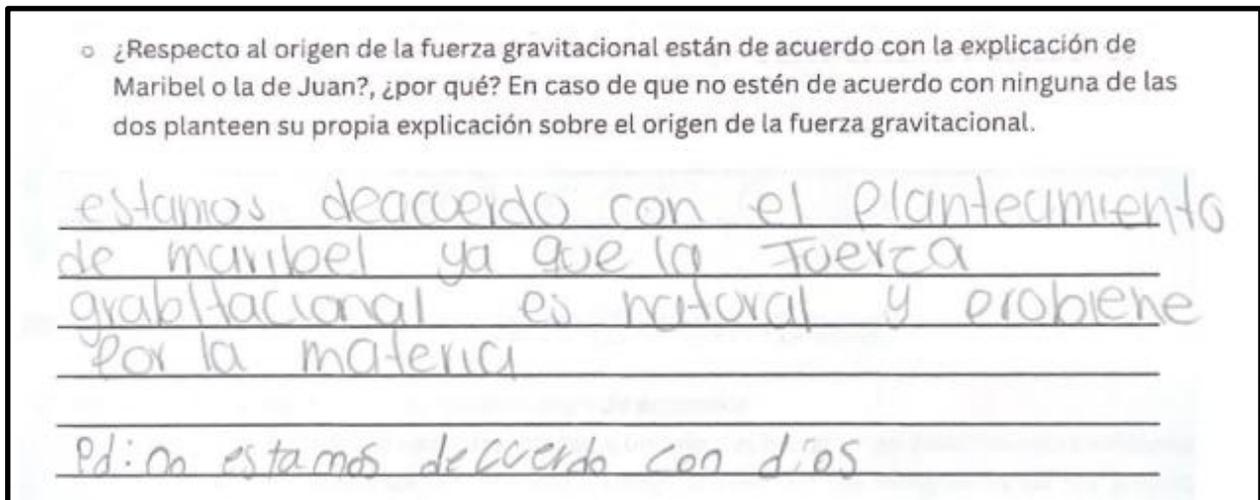
Fuente: material de las implementaciones.

Aunque en ocasiones se sostenga que no es pertinente proponer a los estudiantes las preguntas que en un momento se hicieron los científicos, señalando a estas como *difíciles* y *descontextualizadas*, en la transcripción anterior del G1 se evidencia todo lo contrario, un cuestionamiento fundamental en el *corpus* teórico newtoniano permitió a un grupo de estudiantes, en primer lugar aceptar sus diferentes formas de ver el problema y en segundo lugar configurar un

acuerdo sin eliminar necesariamente ninguna de las dos perspectivas puestas en juego. De hecho, esto último pasó porque todo el grupo estaba convencido con la visión newtoniana de que la gravedad es una *propiedad natural* de los cuerpos, por esto si aceptaban que la Tierra seguía determinada trayectoria una vez desapareciera el Sol, debían enfrentarse a la pregunta relacionada con qué determinaba esa trayectoria, y como no quedaban más cuerpos, la única respuesta posible sería que existiese algo externo a la Tierra que la hiciera comportar de determinada manera. Por lo anterior, puede decirse que los estudiantes del G1 son discípulos de Newton, aunque no del todo, pues como se muestra en la siguiente figura consignaron en el taller de la S4 que no estaban de acuerdo con que Dios fue quien indujo en la materia la propiedad de atraer.

Figura 12

Respuesta del G1 después de la lectura respecto a sus posturas sobre el origen de la gravedad



Nota. La figura muestra la respuesta del G1 después de hacer la lectura respecto a su perspectiva sobre el origen de la fuerza gravitacional. Fuente: material de las implementaciones.

⁹Por su parte, el G2 también hizo un replanteamiento, en su caso fue sobre el origen de la gravitación. En un principio, al igual que el grupo G1 habían llegado a la conclusión de que la

⁹ Desde este punto inicia el análisis del segundo indicio de esta subcategoría.

fuerza de gravedad era una propiedad natural de los cuerpos, pero luego de la lectura y tras una ardua discusión cambiaron de forma radical esta perspectiva. La participante más dispuesta a reflexionar sobre sus planteamientos iniciales fue E7, de hecho, al insistir construyendo para ello diferentes explicaciones también ayudó a que sus compañeros y compañeras se animaran a cambiar de perspectiva. E2 fue quien más la acompañó en el diálogo porque E8 y E9 estaban dedicados a ir sistematizando las ideas que emergieron de dicho debate.

Aunque E2 también mostraba inclinaciones a modificar su perspectiva sobre el origen de la gravedad, él quería proponer su propia teoría, pues no estaba convencido del todo con las explicaciones de Maribel y Juan o más bien de Newton y Euler. Mientras que, E7 propuso varias alternativas pero todas estaban sustentadas en los planteamientos de Juan, una de estas era pensar el espacio como una tela elástica en la que los diferentes cuerpos celestes iban cayendo y dependiendo de sus masas organizaban la tela de tal manera que esta los obligaba a tender hacía el cuerpo con mayor masa, otra alternativa fue imaginarse al espacio como un recipiente que le otorga a los cuerpos la propiedad de atraer a otros en dependencia del tamaño de sus masas. En ambas alternativas el espacio le otorga a la materia la propiedad de atracción y por esto la gravedad sería un mecanismo externo a la materia, tal y como lo planteaba Euler.

El problema de E4 con la perspectiva de Euler era que no entendía con respecto a qué medir el inicio de todo, es decir, si la gravedad es una propiedad otorgada por el espacio a la materia, ¿con respecto a qué fuese posible medir el desajuste del espacio cuando cae el primer cuerpo?, y más importante aún, ¿cómo medirlo si no se conocía la estructura del espacio antes de que cayera el cuerpo? Ante estos importantes interrogantes E7 le insistía en que el espacio se fue formando poco a poco a través de un acoplamiento de moléculas, las cuales con el paso del tiempo se configuraron de tal manera que a cada punto del espacio le inducen cierto poder gravitacional, en dependencia de la masa que se ubique allí.

La anterior discusión se encuentra plasmada en la siguiente transcripción de la participación del grupo G2 en la S4.

E9: Respecto al origen de la fuerza gravitacional están de acuerdo con la explicación de Maribel o la de Juan. ¿Por qué? En caso de que no estén de acuerdo con ninguna de las dos, plantee su propia explicación sobre el origen de los ... -vuelven a leer el relato-

E7: Yo estoy más de acuerdo con la de Juan, porque si nos ponemos a ver tiene algo de razón y a la vez no.

E2: ¿Y si planteamos una?

E7: O sea tenemos que plantear el origen de la fuerza gravitacional, no porque mire, Juan aquí dice que para él sin cuerpos no hay fuerza o sea que básicamente debe existir un cuerpo para tener una fuerza, entonces podemos decir que la fuerza gravitacional nace del espacio...

E2: De la interacción entre cuerpos...Siiii, es que en el espacio debe haber una fuerza gravitacional porque si no entonces los planetas se irían a quien sabe dónde, pero volvemos al punto anterior, que si yo no tengo un punto de referencia no sabemos si nos estamos cayendo, si nos estamos moviendo, si estamos subiendo, si retrocedemos, si avanzamos, si giramos... Es que de la nada no se puede crear algo, porque desde la nada no puede surgir...

E7: Y es que quién dijo que yo digo que las cosas se crearon de la nada... ella dijo que Dios lo puso ahí (se refiere a Maribel) y le dio el impulso divino, es como yo poner este borrador así y darle así -hace una demostración con un borrador- No eso no es, el borrador tiene su proceso de creación, yo no puedo sacar un borrador de cualquier manera, es lo mismo la Tierra y los planetas se fueron creando por millones y millones de años, no puede haber alguien que las haya puesto ahí.

E2: Entonces es lo mismo que usted me dijo de la evolución, entonces la evolución tuvo que haber tenido un principio y de la nada no surge nada.

E7: O sea, te estoy dando algo muy argumentado... de que las moléculas y los átomos se van juntando...

E2: Y de donde salen las moléculas, los átomos...

E7: Del espacio parece, no sé... - se exaspera- ¿Usted sabe qué hay en el espacio? ¡yo no! Puede que haya extraterrestres, usted no sabe, puede que usted no sepa y yo tampoco. Pues, no sé, se van creando, es lo mismo que el sol, el sol se volvió una estrella grande y llegaron los planetas... Y si lo ponemos de esta manera, que en el espacio hay muchos planetas rotando por ahí buscando una estrella... ah si ve, ahí está la cosa, eso se van creando, se van creando.

E7 y E8: Estamos de acuerdo, estamos de acuerdo.

E2: Lo que yo pienso, es que, si estamos hablando del espacio, sin cuerpos celestes, sin nada, o sea el vacío, en el vacío no hay fuerzas, entonces las ejercería los mismos planetas, ya.

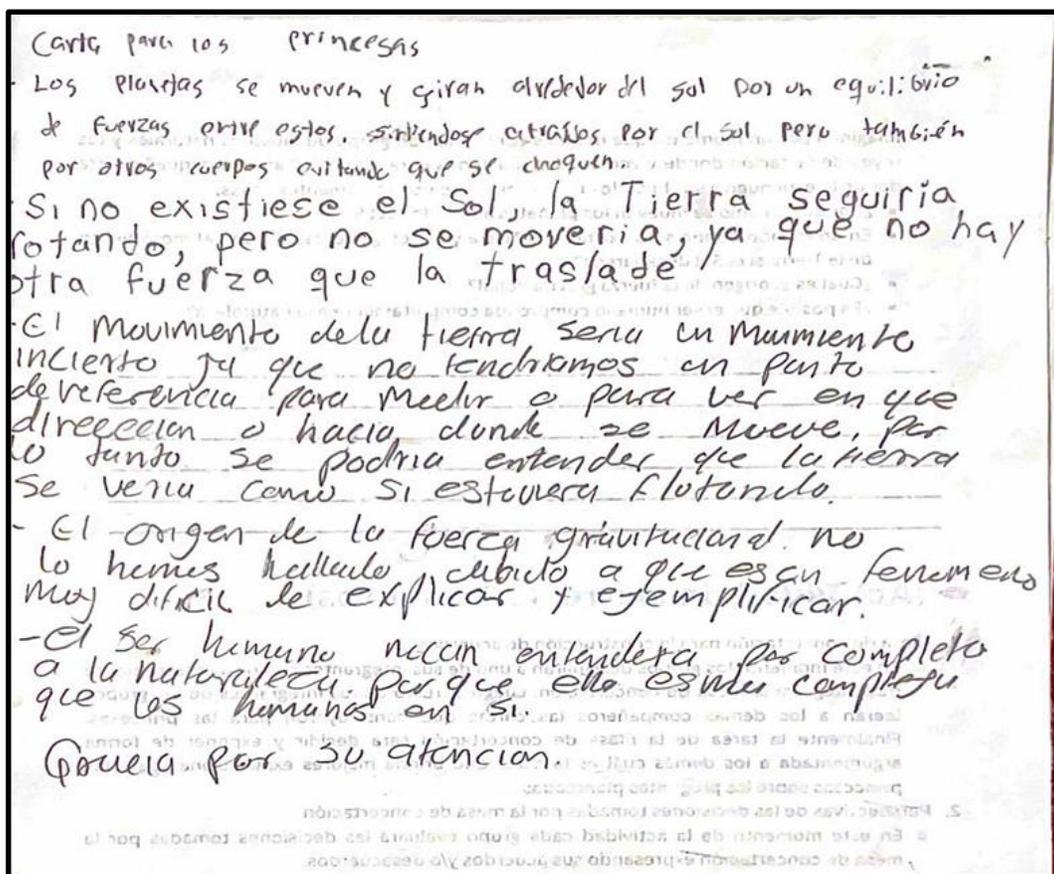
E7: El espacio solo funciona como un recipiente, hagamos de cuenta que funciona como un recipiente, el espacio es un recipiente que mantiene la fuerza gravitacional de todos los cuerpos que hay en él, entonces estamos hablando de que, enfocándonos en el sistema solar, entonces como debe ser un recipiente (se refiere al espacio) él acepta la fuerza gravitacional de cada planeta y los mantiene en un eje, una órbita.

Aunque finalmente, los integrantes del G2 no pudieron establecer un acuerdo sobre el origen de la gravedad, en su discusión se puede evidenciar que luego de realizar la lectura de la historia comenzaron a abandonar la perspectiva de Newton, pues desde un inicio de la discusión plantearon que el espacio es quien otorga la fuerza gravitacional a los cuerpos que se sitúan en él. Como es de esperarse esta perspectiva que era nueva para ellos hizo que se hicieran muchas preguntas relacionadas con el origen del espacio y la manera en cómo este se formó. En un punto de esta discusión los estudiantes del G2 se encontraron sin salida, debido a ello, optaron por consignar en su carta para las princesas que *el origen de la gravedad no lo habían hallado, debido*

a que es un fenómeno muy difícil de explicar y comprender. En esta conclusión, se ilustra que para el G2 definir el origen de la gravedad es un problema bastante complejo, cuya solución no sólo se encuentra relacionada con aspectos propiamente físicos, sino también con cuestionamientos relacionados al origen del universo, lo que en el fondo conlleva a una pregunta que termina siendo muy difícil de enfrentar: ¿de dónde surgió todo lo que se conoce como espacio? La carta del G2 a las princesas se presenta en la siguiente figura.

Figura 13

Carta a las princesas del G2 en la S4



Nota. La figura muestra la respuesta del G1 después de hacer la lectura respecto a su perspectiva sobre el origen de la fuerza gravitacional. Fuente: material de las implementaciones.

Como parte final de la S4 a los grupos G1 y G2 se les pidió que formaran una mesa diálogo para decidir cuál de las cartas explicaba de una manera más adecuada los cuestionamientos planteados. Ambos grupos estuvieron de acuerdo respecto a la imposibilidad de predecir el movimiento de la Tierra una vez que el Sol desaparece, explicando que en un mundo únicamente formado por estos dos cuerpos celestes no habría ningún punto de referencia respecto al cual medir el movimiento de la Tierra. Sin embargo, con relación al origen de la gravedad los grupos no pudieron establecer un acuerdo, esto era de esperarse pues para el G1 la fuerza gravitacional es una propiedad natural de la materia, mientras que, para el G2 la fuerza gravitacional tiene su origen en el espacio y no tanto en los cuerpos acercándose así a las ideas de Euler, aunque es importante destacar que para los estudiantes del G2 esta respuesta no es definitiva como aparece consignado en su carta para las princesas.

Lo importante de la mesa de diálogo de la S4 es que los grupos decidieron no establecer un acuerdo sobre el origen de la gravedad, esto no necesariamente eliminó a alguno de los dos planteamientos, puesto que cada grupo tenía un compendio de razones para defender su conclusión. Lo anterior, les permitió comprender que en la construcción del conocimiento científico no necesariamente siempre se puede establecer un acuerdo entre las diferentes explicaciones que se construyen sobre los fenómenos analizados, es decir, en ocasiones la existencia de diferentes perspectivas es natural al trabajo científico (Matthews, 2012; Pearce, 2013; Romero, 2013a). Lo mencionado en este párrafo, se evidencia en las siguientes reflexiones que realizaron los grupos G1 y G2 al final de la S4.

Figura 14

Reflexión final del G1 sobre las actividades realizadas en la S4

o Te invitamos a que escribas los aspectos que consideres positivos y a mejorar respecto a las actividades planteadas en esta sesión del semillero.

nos parece bien, hoy aprendimos
a que no siempre vamos a llegar
a una razón y a tomar una
decisión en tre todas

Nota. La figura muestra la reflexión final del G1 sobre las actividades realizadas en la S4.

Fuente: material de las implementaciones.

Figura 15

Reflexión final del G2 sobre las actividades realizadas en la S4

o Te invitamos a que escribas los aspectos que consideres positivos y a mejorar respecto a las actividades planteadas en esta sesión del semillero.

La actividad nos pareció muy
reflexiva las actividades, porque
podimos debatir sobre las
preguntas más a fondo y pudimos
llegar a distintas conclusiones

Nota. La figura muestra la reflexión final del G1 sobre las actividades realizadas en la S4.

Fuente: material de las implementaciones.

En correspondencia con el análisis realizado para esta subcategoría, es posible decir que, la propuesta didáctica, en particular la S4, contribuyó a la generación de espacios para el intercambio de ideas, la construcción de explicaciones, el debate colectivo y el reconocimiento de que es posible tener diferentes explicaciones sobre un mismo cuestionamiento. Estos aspectos caracterizan a un tipo de física en la que todas las preguntas no están solucionadas *a priori*, por lo cual requiere de los estudiantes una postura crítica constante y una apertura para enfrentarse a la complejidad de intentar comprender el mundo natural que los rodea (Matthews, 2012; Pearce, 2013; Romero, 2013a).

Con la intención de propiciar una mejor comprensión del análisis realizado para esta subcategoría, a continuación, se construye una tabla donde se relacionan los indicios con las sesiones de la propuesta didáctica donde estos fueron evidenciados.

Tabla 6

Relación entre los indicios de la subcategoría 1, sesiones y grupos donde se evidenciaron

Indicios	Sesiones y grupos
Conciben a la gravedad como una propiedad natural de la materia o como el efecto impuesto por un mecanismo externo a los cuerpos.	Actividad de apertura S4 (G1 y G2) Actividad de desarrollo S4 (G1 y G2)
Reconocen que el origen de la gravedad es un asunto problemático de difícil solución cuya explicación no obedece a una única perspectiva. Y aunque asuman alguna de ellas son conscientes de que eso no elimina la posible certeza de las otras.	Actividad de desarrollo S4 (G2) Actividad de cierre S4 (G1 y G2)

Nota. La tabla es una construcción propia.

El trabajo científico como una actividad humana

En esta subcategoría, se estudiaron de forma sistemática las transcripciones de las sesiones del semillero que estuvieron enfocadas al reconocimiento de la perspectiva de ciencia que tenían los estudiantes y a la reflexión sobre los conocimientos adquiridos a lo largo del semillero.

Contextualizar al trabajo científico como una actividad humana conlleva a considerar, en una perspectiva social de la ciencia, que las ideas científicas están íntimamente ligadas a la subjetividad de sus creadores. Al mismo tiempo, implica reconocer que el conocimiento científico va más allá de ser un mero conjunto de resultados o verdades inmutables. En realidad, se trata de una constante reflexión en torno a las regularidades que rigen el mundo natural. Dicho proceso de reflexión continua busca, en última instancia, fomentar una comprensión colectiva de la naturaleza. Este enfoque encuentra ejemplificación en la metodología adoptada por Boyle en su estudio de la bomba de vacío. Boyle abrazó la importancia de exponer en público sus procesos experimentales, ya que estaba arraigado en su convicción de que el conocimiento científico debe estar al alcance de todos, una plataforma abierta para la exploración y el enriquecimiento compartido (Feyerabend, 1986; Solís, 1994; Shapin, 1995; Romero, 2013a).

Los indicios correspondientes con esta subcategoría se evidencian cuando los estudiantes:

- Reconocen que si bien algunas ideas científicas están relacionadas con las creencias personales de quienes las construyeron, este hecho no les quita su posible veracidad.
- A pesar de las dificultades se superan evidenciando que el trabajo científico es una actividad abierta para todas y todos.

Los encuentros del semillero de física que estuvieron enfocados en resaltar al trabajo científico como una actividad humana fueron la sesión 1 (S1) y la sesión 6 (S6). A partir de algunos materiales utilizados para la recolección de la información, se llevará a cabo un análisis sobre cómo en estas sesiones emergieron evidencias relacionadas con los indicios de esta subcategoría de investigación.

En la S1, la actividad de apertura consistió en que los estudiantes debían contestar una serie de preguntas direccionadas a indagar sus perspectivas sobre la construcción de los conocimientos científicos.

Para los estudiantes del G1¹⁰ *La ciencia es todo lo que se puede estudiar con base en experimentos y conocimientos previos.* Además, consideran que si bien algunas ideas científicas pueden estar fundamentadas en supersticiones o en las creencias personales de quienes las construyen, estas siempre deben ser sometidas a la verificación a partir de procesos experimentales. Lo anterior, puede evidenciarse en lo consignado en el taller por G1 y en la siguiente transcripción fruto de sus discusiones en la actividad de apertura de la S1:

E3: Algunas personas se han basado en la superstición.

E5: Muchos se han basado en la astrología.

E3: En sí la astrología es algo que está en el universo.

E5: La Astrología no le quita objetividad a la ciencia, antes como que ayuda más, ¿no?

E1: Como que le ayuda a sustentar las cosas.

E2: **Digamos que esa superstición, no es la idea final, sino es como el pensar la manera en la que él lo puede resolver para después demostrar.**

E3: Yo creo que el científico, puede decir que, él soñó eso, pero después empezó a experimentar para verificar.

Por su parte, en la actividad de apertura el G2¹¹ consignó en su taller que *la ciencia es un método para estudiar los fenómenos.* Respecto, al origen de las ideas científicas E6, E7 y E9 sostuvieron que estas pueden provenir de los conocimientos culturales o los saberes previos que tienen las personas, pues sostienen que la duda constante es natural al ser humano, y este, en su intento de explicar cosas que no puede comprender completamente se vale de lo que para él es un conocimiento valioso. Estos planteamientos no convencieron a E8 quien terminó por sostener que desde su mirada las ideas científicas deben ser verificables, pero al no estar seguro, decidió que sus compañeros construyeran la respuesta con base en lo que habían planteado. Lo anterior, puede evidenciarse en la siguiente transcripción fruto de las discusiones del G2 en la actividad de apertura de la S1:

¹⁰ En la sesión 1 (S1) el G1 estuvo conformado por sus integrantes originales.

¹¹ En la sesión 2 (S2) el G2 estuvo conformado por sus integrantes originales.

E7: Yo considero que sí (...), hay muchas culturas en el mundo, que cada cultura tiene un conocimiento o una creencia que sobrepasa la parte científica por decirlo así, sino que se va más por la creencia del ser humano, entonces eso incita a los científicos a crear nuevas teorías o a investigar más sobre esas culturas.

E6: Sí, porque los mitos, la magia y la filosofía también tratan de buscar, por así decirlo, responder las preguntas que siempre nos hemos hecho, como: ¿de dónde venimos? ¿Por qué estamos acá? etc. Entonces por medio de la ciencia intentamos entender esas cosas, pero obviamente más desde el punto de vista de los cuerpos, de los objetos, o siguiendo un método en específico, entonces yo digo que sí se ve influenciada.

E9: Estoy de acuerdo con E6 y E7.

E8: Yo no sé, eso me hace dudar, para mí las ideas científicas deben ser verificables. Mejor porque no ponemos la respuesta que ustedes dicen, porque es que yo no sé.

En la actividad de desarrollo de la S1, se les mostró a los estudiantes un vídeo que expone el caso de Giordano Bruno, quien, por contradecir al papado en sus hipótesis sobre la finitud y la unicidad del universo, fue quemado en la hoguera. Esta historia permitió que se gestaran interesantes discusiones entre los miembros de cada grupo sobre los nexos entre la ciencia y la religión, lo cual contribuyó a que volvieran a reflexionar sobre las respuestas que construyeron en la actividad de apertura.

En el G1 volvieron a poner en discusión las influencias de las creencias personales de los científicos en la construcción de sus ideas. Inicialmente E4 comentó que, según lo planteado en el video, la religión no influyó en las ideas de Giordano Bruno sobre la estructura del universo, por el contrario, fueron las autoridades religiosas del momento quienes lo convirtieron en objeto de repudio social. Sin embargo, en el mismo comentario E4 reconoce que las ideas de este sacerdote eran subjetivas pues nacieron de su propia comprensión de la naturaleza. Los demás integrantes del G1 interpelan a E4 explicándole que Giordano, no se opuso a la religión, sino a las explicaciones que imponían las autoridades religiosas con base en los libros sagrados. Finalmente, el grupo G1 terminó concluyendo que, al principio o en los inicios de sus estudios, el científico debió tener subjetividad o pensamiento propio para poder plantear otras formas de ver los fenómenos, pero que, si no comprueba experimentalmente sus hipótesis, estas no pueden considerarse como hechos y entran al terreno de las supersticiones. Lo anterior, se evidencia en la siguiente transcripción de la participación del grupo G1 en la actividad de desarrollo de la S1.

E4: Yo la verdad ya digo que no, que no se basaron, porque mire que él dijo, no, yo me opongo a todas estas creencias que nos implantaron, el empezó a indagar y se metió en un mundo que, para él, pues yo lo vi como subjetivo, y no más desde lo real, entonces él volvió a plantear otra forma de ver el universo.

E5: Hizo un planteamiento donde ya estaba creyendo lo que él había imaginado.

E1: Experimentado.

E2: Lo de imaginar es superstición y lo de experimentar, ya digamos que es un hecho.

E4: Pero él.

E5: Diga lo que iba a decir, no se retracte...

E4: Él se opone a la religión.

E3: No, él no se opone ante la religión, él dice que la religión como la han dicho no es así y propone otra cosa diferente.

E5: Les quiere dar otro punto de vista, que no solamente es lo que dicen los libros sagrados.

E2: Y la opinión de él no la sacó de hechos, la sacó... no sé de lo que él soñó. Pero por eso, eso vendría siendo una superstición también, porque no es un hecho.

E4: Pero algunos sí se basaron.

E2: Por eso algunos sí.

E5: Porque vea que ahí mencionó a Aristóteles, cuando él estaba explicando que la Tierra no era el centro del universo como decía en las sagradas escrituras. (...) Aristóteles se basó en cierta parte de los libros sagrados, o sea unos si se basaron mucho en la religión para crear sus teorías, otros como el del video (Giordano) empezaron a imaginar, a suponer.

E4: Como Descartes, lo que estamos viendo en filosofía, lo del yo pienso luego existo, él lo planteó con base a lo de la religión.

E3: Entonces escribamos que, basándose en esas supersticiones, los científicos sacaron la inspiración para plantear otras formas de ver los fenómenos.

Una situación similar, se presentó en el G2, estos estudiantes decidieron reconsiderar la definición de ciencia que habían construido en la actividad de apertura. E7 planteó que la ciencia: *son métodos de estudio, pero también son métodos de vida, hay personas que viven a raíz de todo, de la ciencia, así como hacia el muchacho Giordano Bruno, que por la ciencia defendía su postura con su vida, porque científicamente él ya había encontrado una respuesta por así decirlo, y la quería compartir, divulgar.* Esto fue apoyado por E9 quien comentó que *la ciencia es una forma de vida, ya que en nuestra vida cotidiana está muy presente.* En esta misma línea de pensamiento, el estudiante E6 sostuvo que la ciencia además de ser método para estudiar los fenómenos: *también es un medio para incentivar cambios radicales o reformas en el pensamiento de los demás.* Por su parte, E8 argumentó que desde su perspectiva Giordano Bruno no basó sus suposiciones sobre el universo en la religión, más bien las autoridades religiosas fueron las que lo juzgaron, a este estudiante no le parecía problemático el hecho de que Giordano Bruno hubiese utilizado hipótesis basadas en sus creencias personales sobre la naturaleza para construir explicaciones con respecto a la estructura del universo, para él lo contradictorio era aceptar que los conocimientos científicos puedan derivarse de creencias religiosas pues le *parece absurdo que cuando las personas no pueden explicar algo, opten por la excusa de dios.*

Cuando se le preguntó en la entrevista semiestructurada al estudiante E8 sobre la situación de tensión que vivió con sus compañeros en la S1, este expuso que sus propias creencias entraron en juego, pues al considerarse ateo le cuesta aceptar que las ideas científicas pudieran provenir o estar basadas en creencias religiosas. De hecho, comentó que antes de ingresar al semillero de física la única perspectiva que tenía sobre la gravitación era la de Newton, pero que al comprender que sus ideas estaban basadas en la existencia de una deidad optó por creer en la perspectiva de los remolinos celestes, pues aunque era una hipótesis con posibilidad de ser falseada le parecía que concordaba con su perspectiva sobre el movimiento de los planetas en el sistema solar, Respecto a lo anterior, se encuentra el siguiente fragmento de la entrevista realizada a E8.

I1: ¿Tú con cuál de las tres teorías te identificas?, ¿con la de Descartes, con la de Newton o con la de Euler?

E8: Pues la verdad me voy con la de Newton, porque es como la que más me convenció, **aunque puede que esa no sea la verdad**, pero es como la que más me atrapó.

I1: ¿Y por qué te atrapó la de Newton?

E8: Pues la verdad porque él argumenta todo no como a base de un dios, sino como a base de otras cosas, **porque lo del dios me pareció como.... muy equis.**

I1: Pero espere, espere, Newton es el que habla de dios.

E8: ¿Sí? ... ¡no!

I1: Sí, Newton era Maribel.

E8: ¿Maribel no era Descartes?

I1: No, Descartes es el de los remolinos.

E8: Ah, entonces voy con Descartes, me confundí.

I1: ¿Te gustaban los remolinos?, ¿crees que pueden existir los remolinos celestes?

E8: Pues la verdad sí, porque es lo que pasa realmente, los planetas giran como un remolino. **Aunque yo antes pensaba que la gravedad solo era una fuerza, pero las perspectivas me hicieron cambiar de perspectiva.**

Esta transcripción muestra que la aceptación de las ideas científicas guarda una estrecha relación con la idiosincrasia de las personas, o más precisamente, no es posible separar al conocimiento científico de las subjetividades de quienes lo construyen y lo validan (Feyerabend, 1986; Solís, 1994; Romero, 2013a).

Lo expuesto hasta este punto sobre los sucesos ocurridos en la S1, muestran que los estudiantes tienen planteamientos que se acercan a una perspectiva social de la ciencia (Solís, 1994) sin dejar a un lado el reconocimiento de que las ideas científicas, aunque puedan emerger de creencias personales necesitan ser demostradas experimentalmente. Para un análisis más específico de esto, a continuación, se reflexiona sobre las actividades realizadas por los estudiantes en la S6.

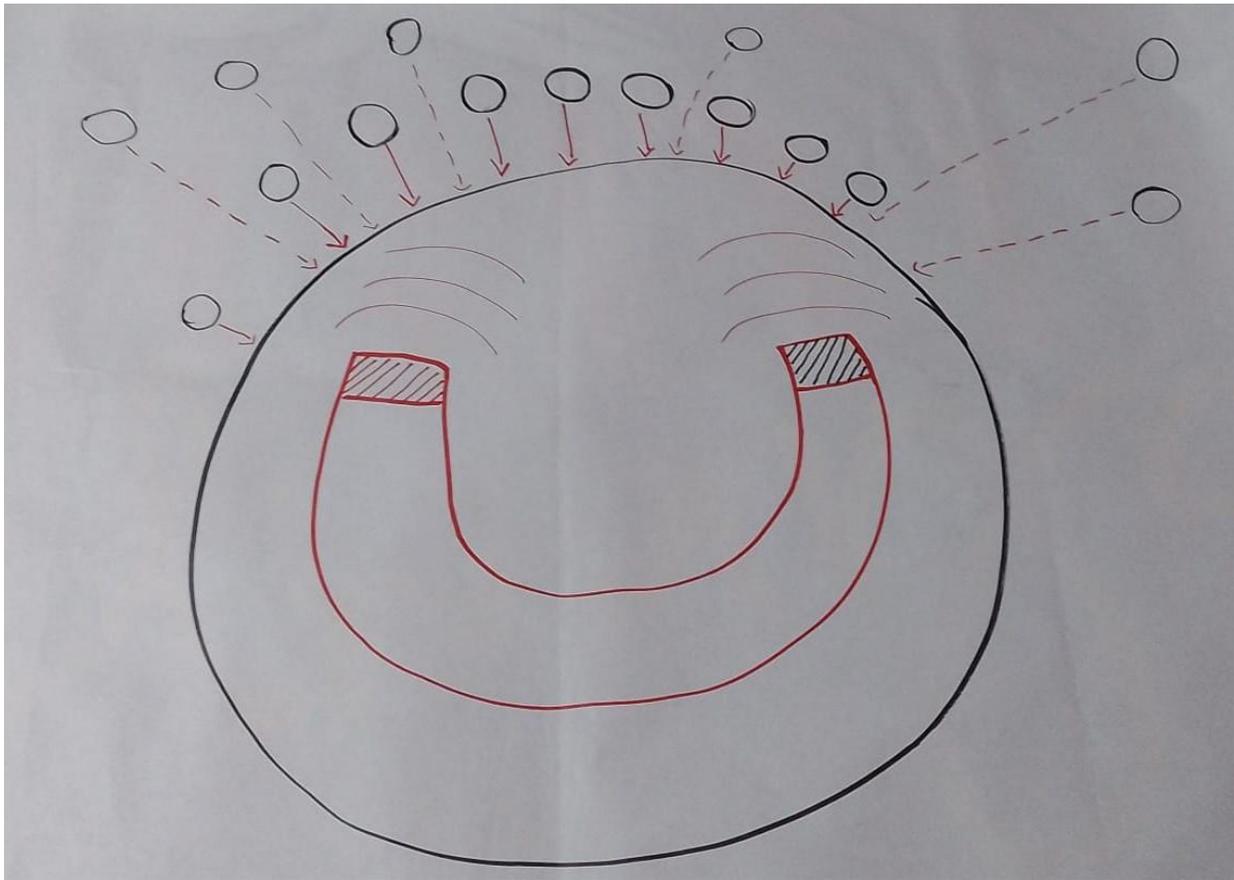
La sesión S6 titulada *Quinta estación: explicar, escribir y comunicar para comprender al fenómeno de la gravitación* puede considerarse como el último encuentro grupal del semillero de física, por ello las actividades que se llevaron a cabo fueron de carácter conclusivo, esto con la intención de generar las condiciones para que los estudiantes se hicieran más conscientes de los conocimientos adquiridos en dicho espacio de formación.

Las actividades para destacar de la S6 fueron dos, la construcción de un dibujo que representara para cada grupo a la gravedad y la escritura de una carta donde debían explicar al otro grupo sus perspectivas sobre la mayoría de los cuestionamientos planteados a lo largo de la propuesta didáctica.

Con respecto a la representación de la gravedad del grupo G1, es posible decir que, continuaron con la postura newtoniana que plantearon en la S4, según ellos la gravedad es una fuerza de atracción cuya magnitud está directamente relacionada con la masa de los cuerpos, por ende, el Sol atrae a los demás cuerpos celestes en el sistema solar porque posee una masa superior a la de estos. De hecho, en su representación del Sol, lo comparan con un imán estableciendo una analogía, tal como lo hizo Newton, entre la fuerza de atracción generada por el Sol y la generada por el imán, al ser ambos cuerpos centrales desde la mirada de Newton generan un mismo tipo de fuerza que puede ser denominada atracción o impulso. En relación con lo anterior, el grupo G1 escribió en su carta lo siguiente:(...) *la manera en la que se mueven los planetas alrededor del sol es por unas **fuerzas de atracción en donde el sol por tener mayor masa genera una fuerza de atracción** hacía los cuerpos más pequeños.* A continuación, se muestra la representación de la gravedad construida por el grupo G1 en la sesión S6.

Figura 16

Representación de la gravedad construida por G1 en la sesión S6



Nota. La figura muestra la representación de la gravedad construida por G1 en la sesión S6. Fuente: material de las implementaciones.

Por su parte, el grupo G2 profundizó un poco más en los planteamientos que expusieron en la sesión S4, sin duda para los estudiantes de este grupo la gravitación no es una propiedad de la materia, sino que es impuesta a ella por un agente externo, el cual no es una deidad, ni los remolinos o el éter, más bien desde su perspectiva es *la naturaleza* misma quien dota a la materia con la propiedad de atraer los cuerpos a distancia, entendiendo a *la naturaleza* como *el resultado de la evolución del universo*. En este grupo, la discusión sobre el origen de la gravedad se tornó bastante interesante pues todos sus integrantes se consideraban ateos o agnósticos, por ello constantemente hacían oposición a las ideas de Newton relacionadas con aceptar a la voluntad de Dios como un argumento científico para dar respuesta a este cuestionamiento. Sin embargo, en su dibujo representaron a *la naturaleza* a través de un ser que se asemeja a una deidad. esto en un primer momento puede parecer contradictorio, pero realmente no lo es, pues con su dibujo ellos querían

resaltar que no tenían problema en aceptar como posibles explicaciones sobre el origen de la gravedad a las hipótesis basadas en creencias personales. A decir verdad, el problema que tenía G2 era aceptar que esa hipótesis fuera la voluntad de Dios, por este detalle decidieron construir su propia hipótesis. Con respecto a lo anterior, E7 en su entrevista expuso lo siguiente:

I1: (...) Hubo algo muy particular que me interesó mucho en ti, recuerdo que tú eras de las de tu grupo que más se oponía a creer que una deidad era el origen de la gravedad, tú decías que no y que no, pero su dibujo fue super interesante, el de la última sesión, porque cuando lo explicaron pusieron el origen de la gravedad en una deidad, ¿ahí qué pasó?

E7: Ok, yo me rehúso a creer en las deidades más como de la religión por decirlo así, para mí lo que es la naturaleza y todo lo que vivimos en el entorno se podría clasificar como una deidad, no de modo de tenerle como ofrendas, como de seguirla, sino de respetarla. Soy una persona que le gusta mucho la naturaleza, le fascinan todos los fenómenos de la naturaleza y los animales y todo eso. **Entonces la representación que quisimos hacer fue como más de la naturaleza en sí, o sea, el hecho de que no sabemos si en la galaxia en sí haya más gente, más personas, extraterrestres, más cosas que no conocemos y tampoco nos podemos cerrar a eso, entonces el hecho de la naturaleza, de la evolución en el planeta, era como la que nos da la gravedad actualmente, no como un dios, sino como más algo de la evolución.**

I1: Entonces ustedes usaron sus creencias personales para construir una explicación sobre el origen de la gravedad, ¿tú piensas que esto le quita rigurosidad a la ciencia o que eso es válido dentro del conocimiento científico?

E7: A mí me parece que eso es válido, yo nunca he dicho que las hipótesis quiten validez o rigurosidad (...), sino que es más que todo el no dejarse llevar por algo impuesto, sino más por algo que tu consideres que es así, porque si tú me obligaras a creer que la naturaleza tendría que ser un hada o un dios, no me va a interesar, porque no es como lo que tu creas, sino que es lo que yo crea, lo que yo piense y como yo lo quiera ver, entonces es algo muy libre de cada persona.

Desde una mirada positivista del conocimiento científico o desde un enfoque de la enseñanza de la física centrado en la trasmisión de productos, desarrollar este tipo de debates con los estudiantes podría ser perder el tiempo, lo interesante es que les permite entender una idea sencilla pero profunda: el grado de aceptación de las ideas científicas está directamente relacionado con las subjetividades de quienes las estudian y las producen. Lo cual, desde una mirada social de la ciencia (Feyerabend, 1986; Solís, 1994), contextualiza a la práctica científica como una actividad humana e interesada que no separa al sujeto del conocimiento que produce. Con relación a lo anterior, el MEN (2006) en los Estándares de Competencias en Ciencias Naturales menciona que:

(...) Debe ser meta de la educación científica desarrollar la capacidad de los estudiantes de observar y analizar críticamente cómo los descubrimientos e ideas científicas han incidido en el pensamiento de las personas, sus sentimientos, su creatividad, su comportamiento,

teniendo presente que las diferencias culturales influyen en el grado de aceptación de las ideas científicas, su uso y valoración. (p.107)

Figura 17

Representación de la gravedad construida por G2 en la sesión S6



Nota. La figura muestra la representación de la gravedad construida por G2 en la sesión S6. Fuente: material de las implementaciones.

Adicional a lo anterior, G1 y G2 consignaron en sus cartas que, si bien algunos científicos como Descartes, Newton y Euler habían construido sus teorías sobre la gravedad con base en suposiciones, hipótesis o creencias personales, este hecho no les quitaba veracidad porque eran posibles explicaciones relacionadas con el origen de un fenómeno bastante complejo de comprender.

Específicamente, los estudiantes del G1 escribieron que: *Otro punto de vista el cual queremos hablar es de los científicos, los cuales explicaron la fuerza gravitatoria sin un comprobante sobre la explicación que estos daban, lo hizo Newton con la deidad, como lo hizo Descartes con el remolino o como Euler con el éter, lo cual no le quita veracidad a sus puntos de vista porque son posibles explicaciones y están muy bien argumentadas.* En una línea de pensamiento similar, los estudiantes del G2 consignaron que: *Algunos de los grandes científicos explicaron el origen de la gravedad como impulsado por el éter o fuerzas sin evidencia, y creemos que esto no le quita veracidad a la gravedad ya que un origen mismo de cualquier fenómeno no lo podemos encontrar, por lo que poner el origen en una fuerza externa no es disparatado.*

En estos fragmentos de las cartas escritas en la S6 se evidencia por parte de los estudiantes del G1 una comprensión de que las explicaciones científicas pueden tener su origen en hipótesis ficticias o en creencias personales de los científicos porque son enunciados provisionales sobre el mundo natural, no se tratan de últimas palabras, sino que están abiertas a ser modificadas (Romero, 2013a). Por su parte, los estudiantes del G2 exponen que definir el origen de un fenómeno es muy complejo, así que enfrentar esta problemática por el camino de las suposiciones o las hipótesis no es contradictorio, pues cada científico (inclusive ellos) lo explicará recurriendo al andamiaje teórico que posea producto de su perspectiva sobre el mundo natural (García, 2011).

Figura 18

Carta realizada por el grupo G1 en la S6

Buenos días, compañeros; cordial saludo.
Responderemos las preguntas que nos han dado,
las contextualizaremos:

Realmente no estamos seguros de dónde surge la fuerza gravitacional, pero creemos (llegamos a un consenso) que su origen se debe a la propiedad de los cuerpos y también a un mecanismo externo que, sin embargo, no es el éter ni los remolinos sino la naturaleza.

Algunos de los grandes científicos explicaron el origen de la gravedad como impulsado por el éter o fuerzas sin existencia, y creemos que esto no le quita veracidad a la gravedad ya que un ORIGEN mismo de cualquier fenómeno no lo podemos encontrar, por lo que poner el origen en una fuerza externa no es disparatado.

Con respecto al experimento del ascensor:
Consideramos que fue un arma formada en deuda que atacó la idea que concebimos de la gravedad. Invitar a pensar siempre es positivo.

Figura 19

Carta realizada por el grupo G2 en la S6

Buenas tardes compañeros.

El día de hoy les vamos a explicar como y porque se mueven los planetas al rededor del mundo.

Para comenzar, la manera en la que se mueve los planetas al rededor del sol es por unas fuerzas de atracción en donde el sol por tener mayor masa genera una fuerza de atracción hacia los cuerpos mas pequeños, tambien existen fuerzas externas que generan que no se vayan directamente al sol.

En un caso en donde el sol no existiera el movimiento de los planetas seria al rededor del cuerpo con mayor masa.

Otro punto de vista el cual queremos hablar es de los científicos los cuales explicaron la fuerza gravitacional sin tener un comprobante sobre la explicación que estos daban, lo hizo Newton con la deidad, como lo hizo descartes con el remolino o que Euler con el eter, local no le falta la veracidad a sus puntos de vista porque son posibles explicaciones y estan muy bien argumentadas.

Queremos hablarles sobre el papel que cumple la experimentación a la hora de conocer, para esto tenemos un ejemplo que explica como la fuerza gravitacional ejerce una atracción hacia los cuerpos. este ejemplo se trata de nuestra experiencia en el ascensor del colegio, en el cual nos dimos cuenta que la fuerza gravitacional influida en nuestro peso esto lo tuvimos que argumentar y nos sentimos muy bien con el resultado del proceso con excepcion de que el mal funcionamiento del ascensor que afecto nuestro proceso.

¹²Ahora bien, el análisis del segundo indicio de esta subcategoría más que una conversación entre lo vivido en el semillero de física y las contribuciones de ciertos referentes teóricos es un reconocimiento a los y las estudiantes que a pesar de considerarse como *malos* o *malas* para trabajar en equipo y aprender física continuaron participando en las actividades con la intención de superarse a sí mismos.

Durante la actividad de apertura de la S1 la estudiante E1 tuvo un fuerte conflicto consigo misma, pues en medio de un debate que estaban teniendo sus compañeros relacionados con el por qué es importante aprender sobre la ciencia, mencionó que se *sentía como un mosco en una sopa*, cuando I1 le preguntó por qué se sentía así, respondió que *estaba más perdida que embolotada, que no entendía nada*. A pesar de esta incomodidad, E1 no abandonó el semillero de física, según ella esta decisión de continuar fue influenciada porque sesión tras sesión se sentía con un poco más de confianza, además sus compañeros y compañeras la apoyaron continuamente. Respecto a esta situación, la estudiante E1 en la entrevista relató lo siguiente:

E1: Lo que pasó el primer día fue que bueno entramos acá y como yo casi nunca he entendido bien la física ni nada que tenga que ver con ella, **me sentí como un mosco en la sopa**, o sea, **sentí que no debería estar aquí y que no tenía por qué estar aquí**.

I1: Bueno, y qué pasó después, con el tiempo ...

E1: **Después, con mi grupo de trabajo me fui sintiendo más cómoda, ellos me iban explicando más los temas, se iban discutiendo más las cosas, entonces ya iba entendiendo más y logré entender física.**

I1: Entonces, ¿qué consideras que aprendiste en el semillero?

E1: Pues creo que aprendí sobre la gravedad, por qué giran los planetas, más que todo sobre el sistema solar, eh... Me divertieron mucho todos los experimentos que hicimos con los imanes, y eso hizo que lograré entender más.

I1: A mí hay algo que me genera mucha curiosidad, y es que nosotros sentíamos que tú no tenías confianza para estos asuntos de discutir sobre temas de física. ¿El semillero te ayudó de alguna forma a sopesar eso o no?

E1: **Eh me ayudó a tener más confianza en mí misma y también me ayudó más que todo mi grupo de trabajo porque ellos me apoyaban y me decían, tú si puedes, tú puedes con esto, vea entienda esto, aquello y lo otro. Y como te dije al principio, no soy de entender mucha física, entonces ya con esto puedo decir que puedo discutir de física.**

Es de resaltar que, la estudiante E1 desde el primer día asumió el rol de sintetizar las ideas de sus compañeros integrantes del G1 porque ella se encargaba de redactar las respuestas que

¹² Desde este punto inicia el análisis del segundo indicio de esta subcategoría.

consignaron en los talleres. Además de realizar esta importante tarea poco a poco fue ganando confianza tanto que, como se vio en el análisis de la primera subcategoría, en la sesión S4 sus puntos de vista fueron vitales para que el grupo G1 pudiera comprender qué le pasaría al movimiento de la Tierra, si en un mundo donde solo existiese la Tierra y el Sol, este último desapareciera.

Estos cambios de comportamiento o más bien de sentir respecto a la física que experimentó E1, solo fueron posibles gracias a que en el semillero se trató de abandonar una enseñanza de la física basada en la transmisión de verdades absolutas, brindando espacios para que los estudiantes en compañía de sus compañeros y compañeras fueran dueños de sus propias trayectorias de aprendizaje, al mismo tiempo que experimentaban la complejidad de comprender un mundo natural que requiere ser construido y validado de forma colectiva. Para decirlo sin preámbulo, E1 muestra que sin importar lo complicado y retador que pueda parecer el conocimiento científico, si se tiene la voluntad, es posible acercarse a su comprensión.

Una situación similar sucedió con E9, esta estudiante también asumió el rol de sintetizar las ideas que exponían los demás estudiantes del G2 cuando tenían sus debates sobre los cuestionamientos planteados en cada una de las actividades. En un comienzo, era muy tímida y callada porque no conocía muy bien a los integrantes de su equipo, además no se tenía la suficiente confianza para discutir sobre temas relacionados con física. Esto fue cambiando poco a poco, pues sesión tras sesión se fue involucrando tanto intelectual como emocionalmente en el desarrollo de las actividades realizadas por su grupo hasta el punto de que en la sesión S2, como se verá en el análisis de la siguiente subcategoría, se enojó mucho porque en la mesa de diálogo el G1 no quiso reconocer el trabajo que habían realizado para construir su *sistema solar newtoniano*, lo cual evidencia una conexión entre su subjetividad y el trabajo que realizaba. Aunque E9 en su entrevista reconoce un avance en su autoconfianza para aprender física y en su comprensión sobre el fenómeno de la gravitación, ella misma acepta que aún le falta un poco más, lo cual se considera que es normal porque en sus clases de física no era usual tener espacios para la construcción de explicaciones, su papel era más bien el de ser una receptora. Lo anterior, se hace evidente en la siguiente transcripción de su entrevista.

I1: ¿Me podrías hacer un paralelo entre la forma en cómo se experimenta en tus clases de física y la forma en cómo lo hicimos en el semillero?, ¿ambas formas son iguales o diferentes?

E9: Eh... pues la verdad son cosas muy diferentes (...) yo siento que el profesor explica muy bien, pero pude con este semillero ampliar un poquito más el conocimiento y entenderles a ustedes más. Las clases de física normalmente son teoría, ejercicios, pues si ya taller y evaluación (...), la verdad me parece muy chévere la dinámica del semillero porque uno entiende más y aprende más con cosas así didácticas que a uno mismo le toque como inventarla o hacerla (...) como el coso que nos pusiste de los palos de balsa (se refiere a la construcción del *sistema solar newtoniano*) a mí me pareció muy chévere esa actividad, actividades así lo hacen entender a uno mucho más el tema.

I1: Algo central en las discusiones del semillero era que ustedes pudieran construir explicaciones, ¿crees que evolucionaste en tu capacidad de explicar cosas en física?

E9: Yo digo que, si me solté un poquito más, **pero me falta**, porque es que, pues realmente no es que yo sepa mucho del tema, pero ustedes me hicieron comprender una gran parte del tema, o sea mis opiniones no eran como uh... las más interesantes, pero la verdad yo diría que mejoré.

I1: Para finalizar, ¿Qué aprendizajes te llevas del semillero?

E9: La verdad me llevo muchos aprendizajes, aprender a trabajar en equipo, **a entender que no siempre nos vamos a poner de acuerdo con otra persona como en nuestros conocimientos, pero que de igual manera es respetable la opinión de los demás**. O sea, a trabajar en equipo, a unir ideas en equipo. **A entender que no siempre nos tenemos que dejar llevar por la teoría que está hecha, sino que también podemos crear nuestras propias teorías.**

En este análisis también es importante resaltar a E7, a quien normalmente no le iba bien en su curso de física porque según ella: *le cuesta bastante aplicar las matemáticas en situaciones o problemas físicos*. Lo anterior, es por lo menos curioso, puesto que del G2 fue quien más participó en las discusiones exponiendo ideas bastante influyentes en los acuerdos a los que llegaban los integrantes de su equipo con respecto a los cuestionamientos planteados a lo largo de las actividades. De este modo, E7 asumió el liderazgo de su equipo y en ocasiones cuando sus compañeros y compañeras no se concentraban, ella se encargaba de incitarlos para que participaran en los debates. Los aportes de E7 en las diferentes actividades muestran que tiene habilidades para abstraerse y la suficiente creatividad como para proponer continuamente nuevas ideas o formas de abordar los problemas, más precisamente, E7 presenta una actitud crítica continua, lo cual a pesar de su desconfianza en sí misma le permite demostrar que posee un dominio conceptual interesante en la física. Esto invita a reflexionar sobre la importancia de incluir en las clases de física otras formas de enseñar, pues, aunque la matematización de los fenómenos físicos es importante, no agota la labor de construir teoría física, por ello las propuestas didácticas implementadas en las clases no pueden solamente centrarse en este proceso. Si se quiere construir una ciencia escolar, es necesario que la física surja desde el debate crítico de los estudiantes, se trata entonces de hacerlos

protagonistas en el proceso de construir, defender y validar sus explicaciones científicas (García, 2011; Romero, 2013a).

Respecto a los estudiantes E4 y E8, es necesario decir que siempre les ha ido muy bien en sus clases de física, realmente su dificultad era poder trabajar en grupos porque según ellos se sentían más cómodos haciendo las actividades de forma individual. No obstante, este sentir fue cambiando poco a poco y estos mismos estudiantes reconocen que el semillero les permitió aprender a trabajar en equipo. Con relación a esto, durante la entrevista cuando se le preguntó a E8 qué aprendizajes se llevaba del semillero resaltó lo siguiente: *Pues la verdad nunca había como visto una experiencia de trabajo en equipo, pues yo siempre trabajo como más solo, porque a mí me gusta más eso, pero he visto que trabajar en equipo es mucho mejor, pues compartes ideas con todos desde otras perspectivas, eso es lo que me gustó mucho y me llevo del semillero.* Sobre el mismo cuestionamiento, E4 mencionó que: *Yo aparte de la experiencia de aprender a trabajar en equipo, me llevo el aprendizaje de muchos datos curiosos de la astronomía, y pues aprender a pensar con autonomía, (...) y tener mi propia opinión.*

En este sentido, se hace indispensable que la enseñanza de la física sea un punto de encuentro entre los estudiantes, un espacio en el que se les permita comprender al mundo natural a través de apropiarse de la palabra, exponer sus ideas, experimentar, construir explicaciones, trabajar en equipo, escuchar y ser escuchados. Más allá de esto, un espacio en el que todas y todos sin importar sus particularidades sean bienvenidos.

Este enfoque se alinea con la visión de Boyle, quien comprendía que el hecho científico, es ante todo un hecho social, porque necesita ser reconocido y validado por otros, ya sean testigos presenciales o virtuales. Por lo tanto, si se considera al hecho científico como un hecho social, todo aquel que pertenezca a la sociedad está llamado a comprender ese mundo natural que lo rodea. De este modo, la escuela se configura como un espacio propicio para legitimar de forma social a los hechos científicos, esto no es fácil, pues requiere un tipo de enseñanza en donde se establezcan las condiciones para que los estudiantes construyan posturas críticas frente a los conocimientos validados por las comunidades científicas (Shapin, 1995).

En correspondencia con el análisis realizado para esta subcategoría, es posible decir que, la propuesta didáctica, en particular las sesiones S1 y S6, permitieron contextualizar en el semillero de física, al trabajo científico como una actividad humana, en tanto que los estudiantes

comprendieron que la idiosincrasia de las personas tiene un fuerte vínculo con el grado de aceptación de las ideas científicas, además algunos y algunas manifestaron cambios en su autoconfianza para aprender física y en sus habilidades para trabajar en equipo.

Tabla 7

Relación entre los indicios de la subcategoría 2 con las sesiones, grupos y estudiantes donde se evidenciaron

Indicios	Sesiones y grupos
Reconocen que si bien algunas ideas científicas están relacionadas con las creencias personales de quienes las construyeron, este hecho no les quita su posible veracidad.	Sesión 1 y sesión 6 (G1 y G2)
A pesar de las dificultades se superan evidenciando que el trabajo científico es una actividad abierta para todas y todos.	Entrevistas semiestructuradas (E1, E4, E7, E8 y E9)

Nota. La tabla es una construcción propia.

Experimentación Cualitativa Exploratoria

Construcción y defensa de explicaciones científicas

En esta subcategoría, se estudiaron de forma sistemática las transcripciones de las sesiones del semillero que estuvieron orientadas a la construcción de explicaciones con base en la realización de actividades experimentales de carácter exploratorio (Ferreyros y Ordoñez, 2002; García, 2011). Estas explicaciones se centraron en diversas situaciones físicas relacionadas con el fenómeno de la gravitación.

Bajo la mirada de Guidoni et al. (1990), García (2011) y Romero (2013a) la experimentación se establece como un posible camino para tratar de explicar hechos que tienen

una naturaleza social, en el sentido de que quien los mira lo hace con un bagaje de conocimientos previos, o mejor dicho posee internamente unos lentes que le permiten observar de cierta manera al mundo. De este modo, no todos los sujetos que intentan explicar algo a través de la experiencia lo harán de la misma manera, así la propia actividad de experimentar se convierte en una excusa para compartir explicaciones y dialogar con posibles perspectivas diferentes a las propias. En síntesis, lo que se busca en esta mirada, es superar el carácter subsidiario de la teoría que usualmente se le da a la experimentación en la enseñanza de las ciencias, reduciendo esta actividad a una mera verificación de resultados teóricos (García, 2011).

Tal como expone Romero (2013a; 2013b), se precisa una enseñanza de las ciencias que no se centre exclusivamente en la trasmisión de enunciados teóricos que carecen de relación con las experiencias de los estudiantes. Más allá de esto, es necesario darles la palabra para acercarlos al trabajo de comprender el mundo natural, creando en las clases espacios y actividades que les permitan construir sus propias explicaciones sobre algunos fenómenos físicos que suceden en él. En este proceso, se les enfrenta a la incertidumbre y a la agonía intelectual que trae consigo no poseer una respuesta para todas las preguntas disponibles.

Los indicios correspondientes a esta subcategoría se evidencian cuando los estudiantes:

- Construyen dispositivos experimentales y los usan como punto de apoyo para justificar o defender sus explicaciones sobre situaciones físicas relacionadas con el fenómeno de la gravitación.
- Conciben a la experimentación como un proceso que más allá de verificar una teoría revela la complejidad de construir modelos, explicaciones y acuerdos sobre los fenómenos que suceden en un mundo natural construido socialmente.

Los encuentros del semillero de física que estuvieron más enfocadas en la construcción de explicaciones a través de actividades experimentales fueron la sesión 2 (S2) y la sesión 5 (S5). A partir de las transcripciones construidas se expondrá la manera en que en cada una de dichas sesiones emergieron algunos indicios relacionados con esta subcategoría.

La S2 fue titulada *Estación uno: sumergidos en el mundo de Newton*, la cual tuvo como objetivo enfrentar a los estudiantes con algunas preguntas que en su momento se hizo este científico en su intento de comprender algunas situaciones físicas relacionadas con el fenómeno de la

gravitación.

En la actividad de apertura se les planteó una serie de preguntas relacionadas con el movimiento de algunos cuerpos celestes alrededor del Sol, específicamente la pregunta que más generó debate fue la siguiente: ¿cómo explicas el hecho de que en el sistema solar los planetas no choquen entre sí, contra el sol o contra sus satélites?

En el G1 inicialmente se generó una breve discusión en la cual un estudiante (E2) lanza una hipótesis que más adelante terminó guiando el modo de proceder del grupo durante la actividad de desarrollo. A continuación, se muestra la transcripción de dicha discusión:

E3: -Lee la pregunta: - ¿Cómo explicas el hecho de que en el sistema solar los planetas no choquen entre sí, contra el sol o contra sus satélites?

E5: Bueno en el sistema solar es por la órbita que...

E2: Por la ley de Newton.

E5: ¿Cuál ley de Newton?

E2: ¡La de que una fuerza no será... ah! es que no me acuerdo.

E4: La que una fuerza no será atraída por una fuerza menor

E2: Que en el espacio desde un punto... que, si lanzan un cohete, él se va a seguir moviendo hasta que otra fuerza le quite ese movimiento.

E4: Pero ¡no!, pero ¿por qué no se chocan entre ellos?

E2: Porque ya tienen el movimiento y no hay una fuerza exterior que les haga cambiar.

E5: O de pronto si hay, pero no es muy...

E4: Significativa.

E5: No es lo suficientemente atractiva para que eso deje de estar donde está.

E2: Un cuerpo mantendrá su movimiento hasta que otra fuerza lo haga cambiar.

E3: La pregunta no es esa, su respuesta no responde la pregunta.

-Piensan un rato-

E2: **Hay un equilibrio de fuerzas, entonces estas generan que tengan su propio movimiento y si entrara una fuerza nueva cambiaría el equilibrio.**

E4: **Los cuerpos ya tienen su movimiento y este movimiento por las fuerzas que ya tiene no se ve afectado entre ellas y no cambia.**

En esta transcripción, puede observarse que los estudiantes empiezan a apelar a sus saberes previos como base para sustentar sus posibles explicaciones. Con base en dichos saberes, empiezan una discusión donde conciben la ley de inercia como una explicación suficiente para justificar por qué si la fuerza gravitacional presente entre los cuerpos celestes en el sistema solar es de atracción, estos no se chocan entre sí. No obstante, E3 increpa a E2 y afirma que la ley de inercia no es una explicación suficiente para este hecho, aunque las razones expuestas por E3 no salieron lo suficientemente claras en la grabación de audio, el I1 quien acompañó a este grupo anotó en su

diario de campo lo siguiente: *E3 le dijo a E2 que evidentemente los cuerpos celestes estaban siendo sometidos a fuerzas externas, por lo cual, la única forma que estos mantuvieran sus órbitas y no se chocaran entre sí es porque la sumatoria de dichas fuerzas es igual a cero.* Basándose en este planteamiento, E3 comparte la hipótesis de que en el movimiento de los planetas alrededor del Sol debe existir un equilibrio de fuerzas, lo cual también fue apoyado por el resto de sus compañeros y compañeras.

Esta discusión resultó bastante importante en la actividad de desarrollo, pues luego de leer una historia protagonizada por Maribel y Camilo quienes hacían las veces de Newton y Descartes debían construir un *sistema solar newtoniano*. Para ello, se les facilitaron los siguientes materiales: una caja cúbica hueca de madera, clips, hilos e imanes de parlante y de neodimio. La idea era que los estudiantes construyeran un modelo experimental de la acción a distancia propuesta por Newton. Aunque pueden existir críticas por asemejar la atracción de un imán a unos *clips* con la fuerza de atracción presente entre el Sol y un planeta, es el mismo Newton (1986) en sus *Principios Matemáticas de la Filosofía Natural* quien hace esta relación cuando caracteriza al planeta Tierra y a los imanes como *cuerpos centrales* capaces de esparcir por sus espacios circundantes fuerzas que impulsan a determinados cuerpos hacia ellos, en un pasaje de dicha obra menciona que:

Es conveniente, para ser breves, llamar a estas magnitudes fuerzas motrices, acelerativas y absolutas; y para distinguirlas, referirlas a los cuerpos que tienden a un centro, a los lugares de los cuerpos y al centro de fuerzas: a saber, la fuerza motriz a un cuerpo, como si se tratara del impulso de un todo hacia un centro, impulso compuesto de los impulsos parciales de todas las partes; y la fuerza aceleratriz al lugar del cuerpo, como si se tratara de cierta eficacia difundida desde el centro por cada punto en torno para mover los cuerpos situados en él; la fuerza absoluta al centro, **como si estuviera dotado de una causa sin la que las fuerzas motrices no se propagarían por las regiones entorno, ya sea tal causa un cuerpo central (como el imán en el centro de la fuerza magnética o la Tierra en el centro de la fuerza de gravitación) u otra causa oculta.** Tal concepto es meramente matemático, puesto que no considero aquí las causas y las bases físicas de las fuerzas. (p.87)

Retomando el análisis del G1, en su proceso de construir el *sistema solar newtoniano* emergieron bastantes aspectos importantes relacionados con los procesos de experimentación

exploratoria y la construcción de explicaciones. En un principio, cuando I1 se acercó a llevarles los materiales, primero puso los imanes sobre la mesa y luego sin culpa se le regaron bastantes clips allí mismo, esto sin pensarlo fue muy significativo para E2 porque al estar atento observó como los clips se empezaron a organizar en torno a los imanes que estaban sobre la mesa, lo cual le dio la idea de construir una *cadena de clips*. En palabras de E2:

E2: Yo hice eso porque yo vi que apenas tiró los clips se pegaron al imán, entonces yo dije, voy a hacer la cadena para hacer eso.

A partir de esta observación e interactuando o más bien jugando con la *cadena de clips* los estudiantes del G1 se dieron cuenta que si la acercaban dándole giros a un imán de parlante, al cual pusieron de forma horizontal sobre la mesa, la cadena se quedaba en ese estado continuamente, pero poco a poco se iba acercando al centro del imán, esto les permitió construir un modelo sobre la tendencia de los planetas hacía el Sol, pero no conseguían evidenciar el equilibrio de fuerzas, por ende, decidieron modificar el experimento, esta vez colocaron el imán de forma horizontal en el centro de la caja cúbica, y a su vez, sobre los lados superiores de la caja colocaron dos imanes de neodimio, esto les permitió visualizar con mayor facilidad el equilibrio de fuerzas consiguiendo que la *cadena de clips* no se fuera hacía al centro del imán de parlante por estar al mismo tiempo siendo atraída por los imanes de neodimio.

Realmente esta no era la finalidad o al menos lo que los investigadores habían pensado que los estudiantes iban a hacer, fue espontáneo, los estudiantes en su curiosidad innata manipularon los instrumentos, de tal forma que, consiguieron evidenciar experimentalmente su hipótesis sobre el por qué los planetas no se chocan entre sí a pesar de que la fuerza gravitacional es de atracción o más bien, sobre el por qué los cuerpos celestes en el sistema solar *mantienen* sus órbitas. Lo anterior, se encuentra evidenciado en la siguiente transcripción extraída de la actividad de cierre en la que E3 representó a su grupo en la mesa de diálogo, allí este estudiante resumió el trabajo experimental realizado por G1 así:

E3: Al experimentar con los materiales los clips fueron atraídos por el imán, al poner varios imanes y una cadena de clips se sostenían y uno empezó a darle vueltas en el imán que más fuerza tiene (el de parlante), o sea cuando el profesor soltó los clips y había un imán cerca, entonces todos los clips se fueron encima y ya E2 sacó una cadena de clips, empezamos a medir y en un punto eso medio giraba y empezó a dar vueltas,

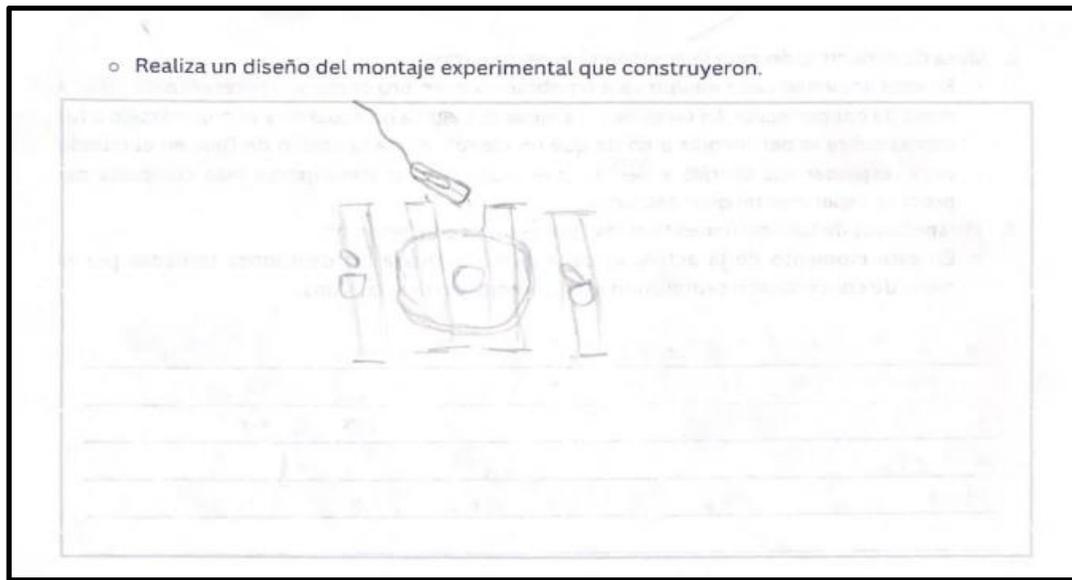
porque como no estaba tan centrado en el imán grande entonces empezó a girar buscando el centro del imán grande. (...) Los imanes pequeños los fuimos moviendo hasta que llegó un punto como que la fuerza de los pequeños se equilibró con la del grande, porque cuando no estaban los imanes pequeños en un punto la cadena de clips se iba directo al centro del más grande, (...) y con los pequeños hacía que no se fuera derecho, sino que poquito a poco fuera más lento.

(...) Lo que nosotros hicimos fue sostener el clip en el aire encima del grande -se refiere al imán de parlante- y al poner los otros dos -se refiere a los imanes de neodimio-, mantenían la órbita y el giro alrededor, y en un punto se iba al centro -se refiere al clip-, pero los otros dos -se refiere a los imanes de neodimio- mantenían luego la órbita.

Además de estas transcripciones que evidencian el trabajo experimental realizado por G1 en la S2 se tienen evidencias fotográficas y escritas. En ellas se puede observar el modelo construido por G1 desde el cuál justificaron la hipótesis planteada por E2: *los cuerpos celestes en el sistema solar mantienen sus órbitas alrededor del Sol porque la resultante de las fuerzas que actúan a distancia sobre ellos es igual a cero*. También es posible evidenciar dos tipos de procesos: uno instrumental y otro literario. El instrumental tiene que ver con el diseño y ajuste del *sistema solar newtoniano* y el literario está relacionado con el proceso de escribir descriptivamente su proceso experimental con la intención de poder compartir sus explicaciones de la mejor manera posible. Sin pensarlo los estudiantes del G1 se acercaron a la metodología utilizada por Boyle en la construcción de la bomba de vacío, entendiendo que la experiencia emerge como un camino propicio para construir, justificar y compartir explicaciones sobre el mundo natural (Shapin, 1995; García, 2011; Romero, 2013a). A continuación, se presentan algunas evidencias fotográficas y escritas del trabajo experimental realizado por G1 en S2.

Figura 20

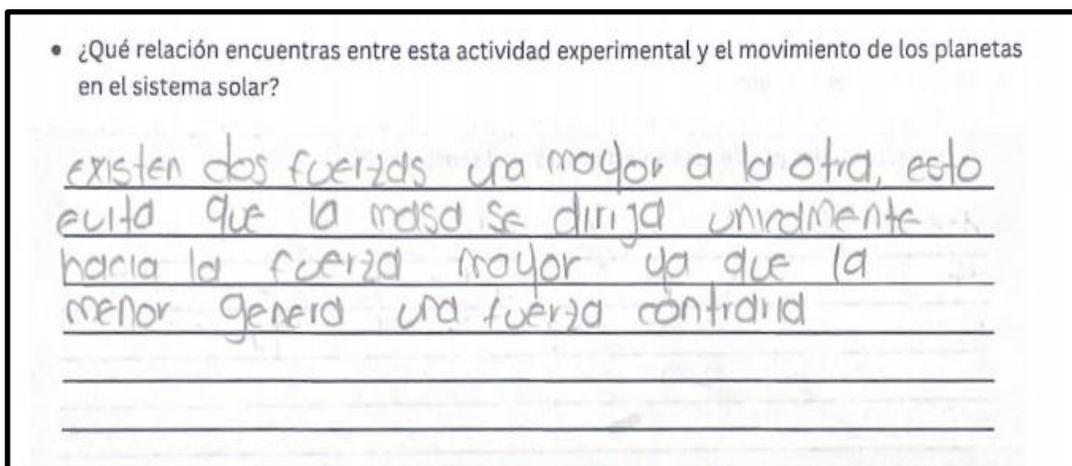
Dibujo del modelo experimental construido por G1 en S2



Nota. La figura muestra un dibujo de uno de los modelos experimentales que construyó G1 sobre el sistema solar newtoniano. Fuente: material de la implementación.

Figura 21

Explicación de G1 en la S2 sobre el por qué si la fuerza gravitacional es de atracción los planetas se mantienen en sus órbitas



Nota. La figura muestra la explicación que construyó el G1 en la S2 sobre el por qué si la fuerza gravitacional es de atracción los planetas se mantienen en sus órbitas. Fuente: material de la implementación.

Figura 22

Sistema solar newtoniano construido por G1 en S2



Nota. En la figura se muestra uno de los sistemas solares newtonianos que construyó el G1 en S2. Fuente: material de las implementaciones.

Por otra parte, durante la S2 el G2 tuvo dos momentos bastante diferentes entre sí, en la primera parte realizaron debates interesantes sobre si el movimiento de los planetas puede entenderse como una caída muy lenta de estos hacia el Sol y sobre el por qué si la fuerza gravitacional es de atracción los planetas no chocan entre sí, contra el Sol o contra sus satélites. Mientras que, en la segunda parte tuvieron bastantes problemas para construir el *sistema solar newtoniano*, sobre todo porque no había una receta o un paso a paso que les permitiera obtener lo que querían, más allá de la historia protagonizada por Maribel y Camilo, aunque finalmente lo lograron varios miembros del grupo no quedaron satisfechos con su trabajo, pues al ver el montaje hecho por G1 y observar que habían conseguido emular el movimiento orbital de los planetas alrededor del Sol, sus inseguridades aumentaron y terminaron expresando sus miedos a no obtener una *buena nota*.

Respecto al movimiento de los planetas alrededor del Sol en el G1 se formó un debate interesante alrededor de si existen diferencias entre que un planeta caiga hacía el Sol o se mueva alrededor de él. En un principio, se abrieron dos perspectivas, E7 sostenía que los planetas solo giran alrededor del Sol, pero no caen hacía él, pues esto implicaría que la fuerza gravitacional actúa como una espiral que *absorbe* a los demás cuerpos celestes (un pensamiento bastante cartesiano), por su parte, E6 sostenía que los planetas si caen hacía el Sol, pero por ser tan masivos lo hacen muy lentamente. Esa explicación hace cuestionarse a E7 su definición de caída, pues para ella significaba ir directamente hacía algo de forma rápida, E6 le comenta que los planetas no solo giran, sino que algo los impulsa ha orbitar alrededor del Sol, ese algo sería la fuerza gravitacional generada por este. A la visión de E6, se le suma E8 afirmando que, si solo giraran tuvieran que moverse de forma paralela al Sol, pero en realidad se mueven a su alrededor, lo cual implica que algo los está empujando hacía él. Esto provoca que E6 ceda un poco y termine comentando que los planetas no necesariamente caen hacía el Sol, sino más bien hacía sus alrededores. Lo anterior, se encuentra plasmado en la siguiente transcripción de la participación del G2 en la S2:

E9: ¿Es posible afirmar que los planetas en el sistema solar caen hacia el sol?

E7 y E8: No caen, giran.

E6: Ah... -se queda pensando un rato y afirma- si caen.

E7: ¿Por qué caen? No comprendo por qué caen, porque caer pues es... se cayó.

E6: Porque es que el sol es el que más masa tiene de todo el sistema solar y si giran alrededor del sol es porque el sol los está atrayendo a todos los planetas... ¿cierto?

E8: Pero no caen hacia el sol

E7: No, no caen, giran.

E6: Pero están girando, porque están cayendo, solo que como tienen tanta masa los planetas, pues no se van del todo hacia el sol y como están impulsados, entonces se mantienen en órbita.

E7 y E8: Pero no caen hacia el sol.

E7: Bueno, creo que nosotros tenemos una definición de caer, que es básicamente al piso, pues caernos, como en caída libre, pues, hacia abajo, tenemos esa construcción mental por decirlo así.

E6: Es como el impulso.

E7: ¿Y qué les da el impulso?

E6: Solo que ellos, como son masas tan grandes lo hacen de forma más lenta.

E7: O sea que tú tienes presente que en algún momento vamos a llegar al sol, ¿como si fuera una espiral?

E6: Pues puede ser, pero dentro de mucho mucho...

E7: Porque una manera que se caigan fuera que el sol fuera el centro de una espiral hacia abajo.

E6: Pues no, no, no. Incluso puede que no porque, es que ellos se mantienen en órbita.

E7: Entonces, ¡no!

E6: Pero si cae, yo diría que sí.

E7: Yo digo que no, ustedes que dicen -se refiere a **E8** y **E9-**

E8: Pues... yo diría que sí.

E6: ¡Ay!, lo convencí

E8: Porque si están girando, no siempre va a estar paralelo, como el sol los atrae, siempre van a ir lentamente.

E7: Pero no caen, ese caen, no me gusta.

E6: Están cayendo, cómo van a girar y ya, es que caigan no implica directamente que se vayan hacia allá, porque es que son masas más grandes.

E7: Mmm, ¿Plutón todavía es un planeta? o ¿ya no se define como un planeta?

I2: ¿Cómo se define un planeta? Hay tres condiciones para considerarlo un planeta, la primera es que sea esférico, la segunda es que esté girando alrededor del sol y la tercera es que limpie su órbita, que es lo que pasa, que Plutón era el noveno planeta y en su órbita pasaba por el cinturón de Kuiper, que es un cinturón de asteroides, que es ese camino lleno de rocas, el no limpia esa zona, el entra a esa zona y vuelve y sale, pero la deja tal como está, no tiene suficiente masa para hacer más gravedad y atraer todos esos pequeños pedazos, entonces es un planeta enano.

E6: O sea que cuando hablamos de un planeta, planeta, sería un planeta no enano.

E7: **Bueno, si seguimos la hipótesis de que la gravedad hace que los objetos caigan entonces está bien, pero caen alrededor del sol, no directamente al sol.**

E6: **Y si ponemos las dos cosas...**

Algo importante también para resaltar en esta transcripción es que de esta discusión emerge la respuesta construida por G2 al por qué si la fuerza gravitacional es de atracción los planetas no chocan entre sí, contra el Sol o contra sus satélites. Después de que I2 les explicara las características que debe tener un cuerpo celeste para ser considerado como un planeta, los estudiantes del G2 empezaron a comentar que las órbitas de los planetas alrededor del Sol estaban ordenadas de tal forma que no se chocaran entre sí, el asunto importante era comprender por qué. E6 decía que era la masa y la densidad de los planetas la que determinaba esta ordenación, entre mayor masa y densidad tuviesen los cuerpos debían estar más cercanos al Sol, aunque E6 no estaba del todo convencido de su afirmación. E8 profundizó un poco más este razonamiento comentando que la densidad también era una variable importante para entender el fenómeno, estableciendo una comparación entre Mercurio y Júpiter. Según esta estudiante, Mercurio era el primer planeta en el sistema solar porque su estructura es rocosa y necesita que el Sol le ejerza una fuerza mayor para seguir en su órbita, en cambio, Júpiter posee una estructura mayormente gaseosa, lo cual implica que para poder seguir en su órbita no necesite tanta fuerza. De esta forma, E8 complementa el razonamiento de E6 y este último queda satisfecho con lo construido. Lo anterior, se encuentra consignado en la siguiente transcripción de la participación del G2 en la S2:

E9: -Lee la pregunta- ¿cómo explicas el hecho de que en el sistema solar los planetas no choquen entre sí, contra el sol, o contra los satélites?

E6: Porque los planetas tienen distinta masa, entonces hay planetas, ah no...

E7: Si lo ponemos en masa, si uno es muy pequeño es más pesado que el más grande, es que no sé, hay algo que es como así, ¿no? Entre más pequeño es más pesado y el más grande menos.

I2: Eso tiene que ver con la densidad, es decir, supongamos que ustedes tienen este borrador, y otro de metal, del mismo tamaño, ¿cuál es más pesado?

E7: El de metal.

E6: Es entonces por la densidad del planeta, es que Júpiter es el más grande, pero es puro gas, entonces por eso está más lejos... aunque no estoy seguro.

E7: Yo lo planteo de esta manera, cada planeta que está más cerca del sol es más pesado por decirlo así, me parece, porque entre más cerca esté el objeto en su órbita, es más fuerza la que debe hacerle el Sol. Entonces Mercurio, si era Mercurio, es el primero, puede que sea el más pesado el que menos necesita más órbita, mientras que Júpiter que es más gaseoso, no necesita tanta fuerza por parte del Sol, está más alejado y así sucesivamente, ¿si me entendieron?

E6: ¿Y eso qué tiene que ver?

E7: Que por esa ordenación evita que se choquen.

E7: Ah bueno sí, de acuerdo.

Como se mencionó al comienzo del análisis de la participación del G2 en la S2 este equipo tuvo algunos problemas para construir su *sistema solar newtoniano*, sobre todo porque estuvieron muy pendientes de lo que construían los estudiantes del otro grupo. Eso fue bastante curioso porque en un principio se estableció la competencia o mejor dicho el hecho de ganarle al otro grupo como el objetivo final del G2, al mismo tiempo, los estudiantes del G2 expresaron cierta angustia porque su nota se iba ver afectada. Una vez los investigadores I1 e I2 les expresaron que el asunto no era tanto la nota, sino compartir lo que sabían, estuvieron un poco más tranquilos y lograron realizar la actividad experimental. Tomaron varios clips y los amarraron con hilos de diferentes longitudes a los lados de la caja cúbica, luego pusieron el imán en el centro, con lo cual consiguieron que los clips fueran atraídos emulando así la fuerza de atracción o acción a distancia propuesta por Newton. Según los estudiantes del G2, los clips hacían las veces de los planetas y el imán representaba al Sol, este proceso aparece en la transcripción de la participación del grupo G2 en la mesa de diálogo, allí su representante mencionó lo siguiente:

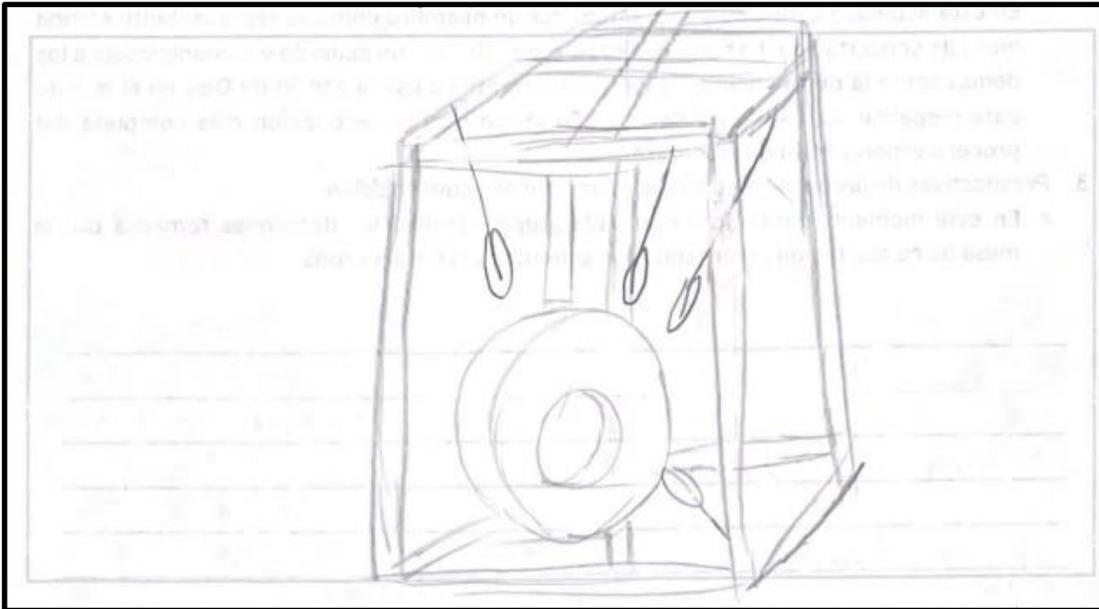
E7: Bueno nuestra recreación fue esta, se la voy a explicar, el imán grande constituye como si fuera el sol, en nuestro planteamiento dijimos que el sol tiene una fuerza de gravedad que hace que cada órbita sea diferente, por eso los planetas no se chocan, entonces cada órbita es diferente de acuerdo con qué tanta fuerza gravitacional necesita el planeta, entre más cerca más necesita y entre más lejos menos necesita, básicamente hicimos lo mismo, entonces los clips simulan planetas.

Lo anterior, también se evidencia en el dibujo que realizó G2 como representación de su

sistema solar newtoniano, el cual se presenta en la siguiente figura:

Figura 23

Dibujo del sistema solar newtoniano realizado por G2



Nota. Esta imagen representa el dibujo del *sistema solar newtoniano* construido por G2 en la S2. Fuente: material de las implementaciones.

¹³La mesa de diálogo de la S2 fue bastante interesante porque hubo una tensión entre los grupos G1 y G2 por los diseños de sus *sistemas solares newtonianos*. Realmente ese no era el objetivo de la mesa de diálogo, dado que allí se plantearon discusiones alrededor de dos asuntos puntuales: la pertinencia de que un científico use la acción de Dios en el mundo como justificación para respaldar sus teorías y cuál grupo había hecho de forma más completa la descripción de sus procesos experimentales al momento de construir el *sistema solar newtoniano*. Pero la condición humana de los estudiantes salió a flote y desviaron el debate hacía propiamente la funcionalidad de sus *sistemas solares newtonianos*, es por esto que, varios integrantes del equipo G1, apoyando a su representante en la mesa de diálogo, le comentaban a los integrantes del grupo G2 que la

¹³ Desde este punto inicia el análisis del segundo indicio de esta subcategoría.

construcción de ellos no era funcional, pues no consiguieron hacer que los *clips* giraran alrededor del imán, por lo que según ellos no se podía evidenciar el efecto de la fuerza de acción a distancia ejercida por el Sol a los planetas en el sistema solar. Los estudiantes del G2 defendieron su trabajo, afirmando que, aunque los *clips* no gravitaron alrededor del imán si estaban direccionados a este como consecuencia de una fuerza de atracción, lo que según ellos sucede también en el sistema solar. Finalmente, cuando se termina la mesa diálogo un integrante del grupo G1 afirmó en voz alta lo siguiente:

E4: ¡Jajaja, ganamos el debate!

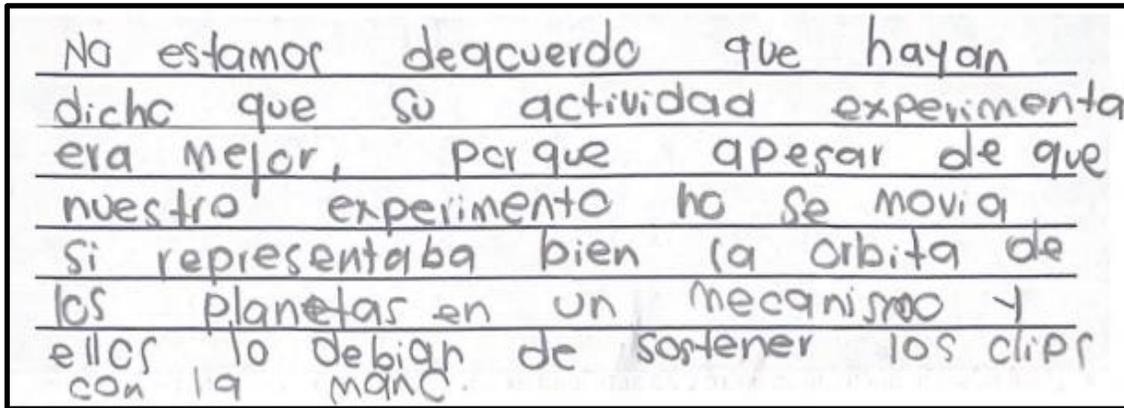
Esto provocó ciertos enfados en el G2, especialmente de E9, es curioso que ella haya sido la más afectada porque en las transcripciones se evidencia que no estaba participando de forma muy activa en las discusiones. La verdad es que, como aparece consignado en los diarios de campo de los investigadores I1 e I2, E9 estuvo todo el tiempo enfocado en escribir y organizar las perspectivas de sus compañeros con la intención de ir respondiendo las preguntas en el taller que les fue entregado desde el inicio, algo similar sucedió con E1 en el G1. Esto concuerda con lo que mencionan Latour y Woolgar (1995), los científicos en sus prácticas de laboratorio se organizan asumiendo determinados roles, sin una división del trabajo difícilmente se podría hacer público el conocimiento que emerge de un proceso experimental, pues normalmente los grupos de científicos experimentales entregan resultados a otro grupo de científicos que se encargan de categorizar y escribir las implicaciones teóricas de estos procesos. De esta manera, el trabajo realizado por E9 no fue poco y cuando criticaron lo que ayudó a construir se tomó el comentario bastante personal, es así como al final de la S2 expresa lo siguiente:

E9: Es que me sacaron la piedra porque desconocieron nuestro trabajo.

El desacuerdo que tuvo el G2 con los comentarios del G1 en la mesa de diálogo, quedó consignado en el taller cuando los miembros del grupo estaban escribiendo sus perspectivas sobre la discusión que se gestó en dicho espacio. Allí en común acuerdo los integrantes del G2 escribieron que:

Figura 24

Comentario del G2 después de la mesa de diálogo realizada en S2



Nota. La imagen muestra el comentario del G2 después de terminar la mesa de diálogo de la S2. Fuente: material de las implementaciones.

Lo anterior refleja que el conocimiento científico no se gesta únicamente en la parte externa de los sujetos, es decir, la labor de construir y defender explicaciones no es una actividad solamente intelectual. En este proceso, se encuentra implicada la condición humana en toda su complejidad, el trabajo científico se convierte así en una práctica social, en tanto que quien la realiza son sujetos dotados de un acervo cultural que los constituye de principios, valores y sentimientos, los cuales se van a poner en juego cuando emprende un proceso discursivo con los otros. En términos de Feyerabend (1986), no es posible separar la ciencia de quien la construye.

Esto también emergió en la entrevista realizada a E9, cuando se le cuestionó sobre las tensiones que se formaron en la mesa de diálogo de la S2 alrededor de los *sistemas solares newtonianos*, está participante comentó que esto fue consecuencia de sus propios orgullos *porque no éramos capaces de admitir que el otro tenía razón (...)* o *que tenía un mejor análisis entonces no nos pudimos poner de acuerdo, literalmente en ninguna pregunta*. Lo anterior, evidencia la complejidad de experimentar para construir acuerdos sobre un mundo natural que requiere ser comprendido y validado de forma colectiva.

Por otra parte, la sesión 5 (S5) recibió como título *cuarta estación: ¿qué pasa con nuestra masa y peso cuando bajamos y subimos por el ascensor del colegio?* la cual tuvo en principio como objetivo discutir las diferencias entre masa y peso. Pero terminó abriendo la posibilidad para

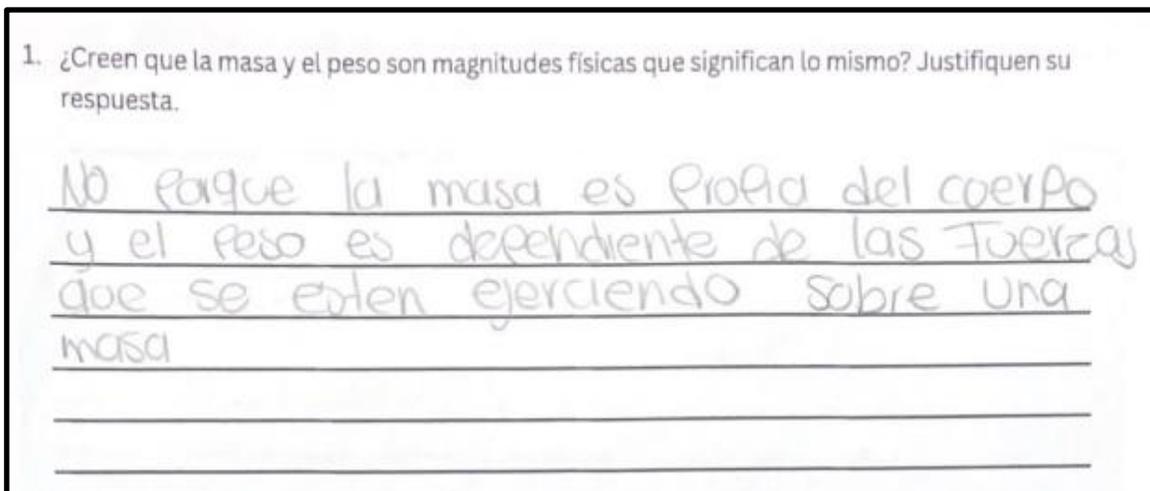
ilustrar a los estudiantes que la experiencia no necesariamente se establece como un proceso para verificar teorías, esto a su vez evidencia la complejidad del proceso mismo de experimentar.

Debido a que, en la S5 los investigadores I1 e I2 tuvieron que desplazarse con los estudiantes al ascensor del colegio no se pudieron tomar suficientes audios para el análisis, en vista de esto, el material de análisis está compuesto por los talleres que entregaron los estudiantes, fotos que evidencian la realización de la actividad experimental y algunos fragmentos de las transcripciones de las entrevistas semiestructuradas que se realizaron a los estudiantes en la última sesión del semillero.

Para iniciar la actividad de apertura en la S5 a los grupos¹⁴ G1 y G2 se les planteó la siguiente pregunta: ¿Creen que la masa y el peso son magnitudes físicas que significan lo mismo? Puede decirse que ambos grupos tenían relativamente claro los conceptos porque no se trataba de un cuestionamiento desconocido para ellos, dado que previamente en sus clases de física los investigadores ya los habían abordado con ellos. En las figuras que se presentan a continuación se muestran las respuestas consignadas por los grupos G1 y G2 en el taller respecto a dicho cuestionamiento.

Figura 25

Respuesta del G1 al cuestionamiento sobre las diferencias entre la masa y el peso



1. ¿Creen que la masa y el peso son magnitudes físicas que significan lo mismo? Justifiquen su respuesta.

No porque la masa es propia del cuerpo y el peso es dependiente de las fuerzas que se estén ejerciendo sobre una masa

¹⁴ En la S5 los grupos G1 y G2 estuvieron conformados por sus integrantes originales puesto que en dicha sesión ningún participante estuvo ausente.

Nota. En esta figura se presenta la respuesta del G1 al cuestionamiento sobre las diferencias entre la masa y el peso. Fuente: material de las implementaciones.

Figura 26

Respuesta del G2 al cuestionamiento sobre las diferencias entre la masa y el peso

1. ¿Creen que la masa y el peso son magnitudes físicas que significan lo mismo? Justifiquen su respuesta.

No son lo mismo porque sin gravedad la masa es independiente del peso. El peso depende de la fuerza gravitacional.

Nota. En esta figura se presenta la respuesta del G2 al cuestionamiento sobre las diferencias entre la masa y el peso. Fuente: material de las implementaciones.

Aunque G1 y G2 no lograron expresar de forma escrita con suficiente claridad las diferencias entre masa y peso, en los diarios de campo de la S5 realizados por I1 e I2 se registra que en ambos grupos las discusiones giraron en torno a concebir la masa como una propiedad natural de los cuerpos y al peso como la interacción de un cuerpo con la Tierra u otro cuerpo celeste, dicha interacción para ellos se manifestaba por medio de una fuerza.

Lo realmente nuevo para los estudiantes de los grupos G1 y G2 fue detenerse a pensar sobre una situación física que realizan a diario pero que no los habían cuestionado sobre ella. Luego de que los estudiantes discutieron sobre las diferencias entre masa y peso, se les llevó al ascensor del colegio donde había una pesa digital, la tarea de los estudiantes fue subirse a la balanza en tres momentos: cuando el ascensor estaba quieto, cuando bajaba al primer piso y cuando regresaba al sexto piso, estos datos debían ser consignados en una tabla que estaba en el taller entregado al inicio de la sesión. A continuación, se presentan las tablas de datos construidas por los grupos G1

y G2, así como algunas evidencias fotográficas de esta actividad experimental.

Figura 27

Tabla de datos construida por G1 en la actividad experimental de la S5

3. Diríjase al ascensor del colegio y lleven consigo la pesa digital. llenen la siguiente tabla:

integrantes	Peso mientras el ascensor esta quieto	peso mientras el ascensor sube	peso mientras el ascensor baja
Integrante 1	66.90	57.45	54.40
integrante 2	65.65	66.75	66.75
integrante 3	65.65	66.25	66.26
	43.8	44.60	44.60
	60.45	61.50	61.50

Nota. La figura muestra la tabla de datos construida por G1 durante la actividad experimental de la S5. Fuente: material de las implementaciones.

Figura 28

Tabla de datos construida por G2 en la actividad experimental de la S5

3. Diríjase al ascensor del colegio y lleven consigo la pesa digital. llenen la siguiente tabla:

integrantes	Peso mientras el ascensor esta quieto	peso mientras el ascensor sube	peso mientras el ascensor baja
Integrante 1	Isa R 55.45	55.60	55.60
integrante 2	Isa M 71.75	72.50	72.80
Integrante 3	Miguel 64.50	65.40	65.90
	Santi 71.85	72.50	72.80

Nota. La figura muestra la tabla de datos construida por G2 durante la actividad experimental de la S5. Fuente: material de las implementaciones.

Figura 29

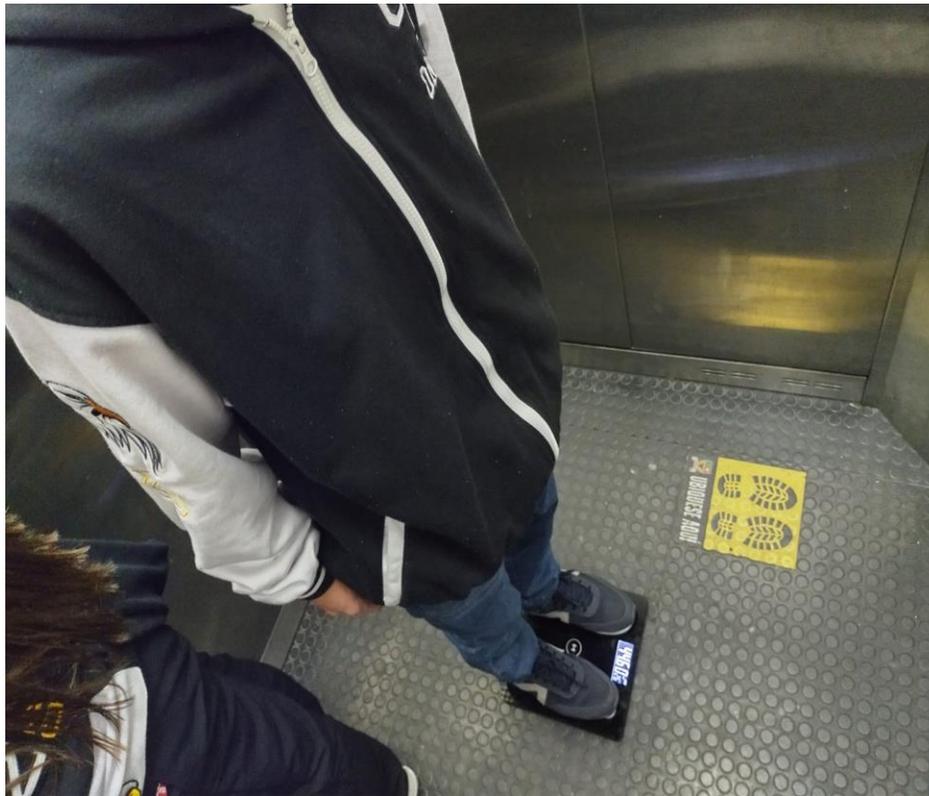
Evidencias fotográficas del trabajo experimental realizado en el ascensor



Nota. En la figura se muestran algunos estudiantes realizando la actividad del ascensor en la S5. Fuente: material de las implementaciones.

Figura 30

Evidencias fotográficas del trabajo experimental realizado en el ascensor



Nota. En la figura se muestran algunos estudiantes realizando la actividad del ascensor en la S5. Fuente: material de las implementaciones.

Tal y como aparece consignado en los diarios de campo de la S5 realizados por los investigadores I1 e I2, luego de realizar esta actividad a los grupos G1 y G2 se les abrieron por así decirlo dos mundos: *el teórico* y *el experimental*.

Para ambos grupos era claro que, en teoría si el ascensor subía el peso de la persona debía ser mayor que cuando estaba en reposo, mientras que, cuando el ascensor bajaba debía suceder lo contrario. Esto lo propusieron con base en la perspectiva de Newton, suponiendo que la gravedad terrestre actúa como una fuerza de acción a distancia generada desde el centro de la Tierra. De esta manera, según los estudiantes cuando el ascensor subía la Tierra usaba su poder de atracción haciendo que sus cuerpos se pegaran con mayor fuerza al piso, lo cual debía aumentar el valor arrojado por la pesa digital cuando el ascensor se encontraba en reposo, por el contrario, cuando el ascensor bajaba los *llevaba hacia el centro de la Tierra*, por ende la presión que los estudiantes ejercían sobre el suelo del ascensor era menor, lo que en última instancia hacía que el valor arrojado

por la pesa digital disminuyera.

Sin embargo, los resultados experimentales no concordaron con estos presupuestos teóricos, esto hizo que los estudiantes ingresaran en un estado de confusión, pues concebían que la experiencia era una herramienta que necesariamente debía verificar la teoría, esta perspectiva se corresponde con una mirada positivista del trabajo científico (Iglesias, 2004). Los estudiantes tienen esta perspectiva porque es común que en sus clases de física el maestro, les diga continuamente que, *la física pocas veces falla*. Esto emergió en varias de las entrevistas pero especialmente en la de la participante E5, cuando se le preguntó si la física era un conjunto de conocimientos objetivos y verdaderos respondió lo siguiente: *sí, se trata de conocimientos objetivos y verdaderos, porque en sí como dice el profesor, la física pocas veces falla*. No obstante, cuando se le pidió que analizara esa afirmación a la luz del experimento en el ascensor cambió un poco esta perspectiva, afirmando que: *estoy como en un punto medio, en el caso del ascensor fue todo un descontrol, un caos, porque todos quedamos como, ¿por qué?, ¿cómo así?, ¿qué pasó? todos los hicimos igual, como decíamos con E4, es que él tuvo un peso más, porque un profesor se montó también en el ascensor, pero vea que al otro grupo, a otros dos les dio distinto, y a nosotros tres por qué (habla de los integrantes del G1 excepto E4) nos dio igual, uno se cuestiona mucho, ahí sí se puede decir, es que si falla, no siempre, pero sí*.

De manera similar, respecto a la actividad experimental del ascensor y los diversos sentires que esta generó los participantes E2, E6, E7 y E9 en sus entrevistas expresaron lo siguiente:

E2: (...) la del ascensor a mí personalmente, o sea, la explicación, por así decirlo, digamos la verdad más aceptada que era que cuando baja el ascensor baja el peso y cuando sube el ascensor sube de peso. **Antes de hacer el experimento, yo pensaba eso, que si el ascensor subía íbamos a pesar más, pero entonces al final con el experimento, o sea, a mí me dio un resultado diferente al que se suponía que tenía que dar, entonces no sé cómo que, no sé se me cruzaron los cables porque no le encontraba lógica, no le encontraba sentido.**

E6: (...) En la física, las verdades son falsables, no creo que se encuentre una verdad objetiva, es decir, en la física si caben los errores (...) con base a lo aprendido en el semillero creo que la experiencia para mí en el ascensor fue bastante importante, y estoy seguro de que para mis compañeros fue bastante fructífera, porque cuando iba a realizar el experimento estaba un 99% seguro de que iba a suceder lo que yo creía que iba a suceder, con lo que yo creía que era la verdad, respecto al fenómeno gravitatorio. **Pero al entrar en el ascensor me di cuenta que lo que yo creía se desbarató porque al pesarme funcionaba de una manera distinta a como yo pensaba que iba a funcionar, eso lo relaciono con que mi experiencia fue distinta a lo que dicen que tiene que pasar y bueno qué fue lo que hizo que esa experiencia mía sucediese de una**

forma distinta, bueno eso me obliga, o sea, es necesario que me ponga a pensar sobre ello, a reflexionar y me ponga a cuestionar sobre esa verdad que me implantaron, será qué eso es cierto o falso, o será que hay otros factores como, por ejemplo, el ascensor estaba malo o la pesa digital estaba mal calibrada, entonces por eso digo que la física, la ciencia por así decirlo, no es algo que sea totalmente objetivo, verdadero e irrefutable, es decir, si se puede considerar y tenemos que estar pensando en las bases porque podemos estar equivocados siempre.

E7: (...) Te voy a contar algo muy curioso, en estos días le estaba comentando a mi hermano sobre la actividad del ascensor, mi hermano ya es graduado, y él me dijo que era imposible que haya dado completamente diferente, en el ámbito de que cuando subíamos bajaba el peso y cuando bajábamos aumentaba, nos dio igual pero diferente -se refiere al supuesto teórico que su grupo G2 tenía-, **entonces yo le decía ... pues así nos dio, y él decía que era imposible, pero yo le preguntaba por qué imposible, son muchas variables, tú puedes hacer un experimento y yo hacer lo mismo, y no necesariamente nos va a dar lo mismo, o sea son muchas variables que uno debe considerar a la hora de experimentar, entonces me parece muy genial que nos haya dado tan diferente, porque a la hora de construir hipótesis y todo eran totalmente diferentes pero con un punto específico, el experimento, entonces era muy genial, muy didáctico y muy bueno.**

E9: (,,) Con la experiencia del ascensor estábamos era más que todo confundidos por los datos que nos había arrojado el ascensor (...) a nosotros nos salió al revés literal, o sea, se supone que cuando subíamos el peso debería subir, pero nosotros subíamos y el peso nos bajaba, y bajábamos y el peso nos subía, entonces estábamos confundidos con eso (...) **es que como le digo, en el colegio a nosotros nunca nos han puesto experimentos así, pues si me entiende, siempre ha sido teoría, taller y evaluación, entonces era como algo nuevo para nosotros, diría yo que para la mayoría de nosotros, a menos de que ya hubiésemos estado en algún semillero extra del colegio, y eso que los semilleros del colegio eran jmmm más teoría, y eso que cuando había, porque eso como que ya lo quitaron.**

Respuestas similares también se obtuvieron en las entrevistas realizadas a E3, E4 y E8, las cuales no se pondrán de forma literal porque ya fueron ilustradas a partir de las experiencias de sus compañeros y compañeras.

Lo anterior, muestra que la dicotomía entre teoría y experiencia muchas veces hace que los estudiantes interioricen posturas de la ciencia permeadas por una perspectiva positivista, la cual trivializa a la actividad experimental reduciéndola a un medio para verificar contenidos teóricos, difuminando así, la incertidumbre que trae consigo experimentar en un mundo natural cambiante y complejo.

Arcá et al. (1990), García y Estany (2010), García (2011), Romero (2013a, 2013b), Pearce (2013), Hodson (2013) y Acevedo et al. (2017) recomiendan que es preciso ir superando esta mirada en la enseñanza de las ciencias, especialmente en la enseñanza de la física, se necesita entonces construir metodologías de enseñanza que permitan a los estudiantes acercarse de forma exploratoria al mundo físico, manipular sus variables, equivocarse, repetir los experimentos,

considerar una y otra vez las explicaciones, cuestionar los presupuestos fundantes de los conceptos físicos o como mencionó E6 en la entrevista una enseñanza que: *permita cuestionar las bases*.

Es necesario entonces, salirse un poco de la comodidad o el ahorro de pensamiento que trae consigo el resultado final, insistir en los procesos históricos y experimentales para lograr empoderar a los estudiantes, devolverles la confianza que una mala nota les ha quitado, pues no tiene sentido que la enseñanza de las ciencias se base en la asimilación de enunciados tipo V cuando en realidad el trabajo científico en sus primeras etapas se basa en conjeturas, especulaciones y experimentos de tipo exploratorio, es decir, en enunciados tipo I (Latour y Woolgar, 1995; Ferreyros y Ordoñez, 2002).

En correspondencia con el análisis realizado para esta subcategoría, es posible decir que, la propuesta didáctica, en particular, las sesiones S2 y S5, generaron espacios para la construcción y la defensa de explicaciones científicas, lo que, a su vez, contribuyó a develar el carácter social y complejo de una práctica que intenta comprender una realidad física que no es determinista, pues depende del bagaje cultural que posee quien la observa (Romero, 2013a). En este sentido, las actividades experimentales de carácter exploratorio se establecieron “como una forma genuina de organizar fenómenos, donde el estudiante puede asumir un papel más activo en la construcción de explicaciones que le permitan hacer comprensible y transformable el mundo que le rodea” (García, 2011, p. 95).

Con la intención de propiciar una mejor comprensión del análisis realizado para esta subcategoría, a continuación, se construye una tabla donde se relacionan los indicios con las sesiones de la propuesta didáctica donde estos fueron evidenciados.

Tabla 8

Relación entre los indicios de la subcategoría 3, sesiones y grupos donde se evidenciaron

Indicios	Sesiones y grupos
Construyen dispositivos experimentales y los usan como punto de apoyo para justificar o	Actividades de apertura y desarrollo de la S2 (G1 y G2)

defender sus explicaciones sobre situaciones físicas relacionadas con el fenómeno de la gravitación.	
Conciben a la experimentación como un proceso que más allá de verificar una teoría revela la complejidad de construir modelos, explicaciones y acuerdos sobre los fenómenos que suceden en un mundo natural construido socialmente.	Actividad de cierre de la S2 (G1 y G2)
	Todas las actividades de la S5 (G1 y G2)

Nota. La tabla es una construcción propia.

Validación de explicaciones y flexibilidad de pensamiento

En esta subcategoría de investigación, se estudiaron principalmente las transcripciones de algunas actividades donde se les pedía a los estudiantes que construyeran una nueva concepción de la gravedad, para luego a través de actividades experimentales ir transformándola poco a poco. De esta manera, el eje central de esta subcategoría fue analizar la disposición al cambio que poseen los estudiantes del semillero, o, mejor dicho, qué tan dispuestos estaban para modificar sus planteamientos a través del diálogo crítico con perspectivas diferentes a las propias. Estos comportamientos caracterizan a una persona que posee flexibilidad de pensamiento, es decir, aquella que es capaz de construir nuevos conocimientos a partir de la diferencia (Paul y Elder, 2005; Restrepo et al., 2013).

Los indicios correspondientes a esta subcategoría se evidencian cuando los estudiantes:

- Examinan de forma constante sus explicaciones con la finalidad de modificar su postura o mantenerla.
- Al momento de construir consensos tienen en cuenta las explicaciones de todas las partes involucradas, estando dispuestos a modificar sus planteamientos para llegar a un acuerdo con las explicaciones de los demás.

La S3 fue titulada *Estación dos: sumergidos en el mundo de Descartes y Euler*, la cual tuvo como objetivo hacer que los estudiantes tuvieran unos roles de filósofos y filósofas naturales que aconsejaban a los reyes de un reino llamado *Nueva Prusia*.

En la actividad de apertura se les presentó la primera tarea que los pensadores del reino debían hacer, esta consistió en construir una nueva definición de gravedad diferente a la de las acciones a distancia a través del vacío.

En el G1¹⁵ los filósofos y las filósofas naturales al comienzo tuvieron una gran dificultad para abandonar la perspectiva de Newton sobre la gravedad, de hecho, en varias ocasiones comentaban que construir nuevas concepciones o hipótesis era para ellos algo nuevo y que normalmente en sus clases de física y matemáticas los ponían a aprender lo que ya estaba hecho, pero no a construirlo. No obstante, poco a poco se fue gestando una lluvia de ideas hasta que E2 increpó a sus colegas afirmando que todas las ideas propuestas eran una continuación de la perspectiva de Newton y que por ello no representaban una nueva concepción de la gravedad. Esto hizo que a E3 le surgiera la idea de pensar que los planetas estaban unidos por un hilo invisible, lo cual llevó a que los demás integrantes del G1 aportaran ideas para mejorarla. Al finalizar la discusión concluyeron que la gravedad es la consecuencia de una telaraña en cuyo centro se encuentra el Sol, la cual a su vez atrapa a los cuerpos celestes en el sistema solar haciéndolos orbitar respecto a su centro. Lo anterior, está plasmado en la siguiente transcripción de la participación del G1 en S3:

E3: Y si decimos que es porque somos como personas imantadas, tenemos una atracción en los cuerpos, porque el cuerpo también está imantado con polaridades distintas y los cuerpos del sistema solar se atraen entre sí, pero son de la misma polaridad entonces no se llegan a juntar, sino que se mantienen separados, es decir, se repelen.

I1: ¿A través de qué viaja esa atracción?

E5: La órbita.

E3: El Sol.

E5: Pues no sé, a mí me parece que debería ser el universo, porque el universo abarcaría todo.

E2: ¿Eso es una nueva definición de gravedad?

E3: Es que todo está con un hilo, los planetas están en un hilo entre ellos.

E2: Entonces como todos están unidos con un hilo, digamos que es como una telaraña. Y todos están conectados, todos los cuerpos existentes están unidos por un hilo invisible que forma una telaraña.

¹⁵ En la S3 el G1 estuvo conformado por: E1, E2, E3 y E5.

E1 y E3: O conexión en forma de telaraña -dicen al unísono-.

I1: ¿Por qué pensaste en la telaraña? le pregunta a E2.

E2: Yo pensé primero en el hilo, y yo dije, entonces se vendría uniendo a un planeta y entonces todo sería una telaraña y el planeta viajaría por la telaraña a través del hilo.

E3: Y si son como huecos y el hilo pasa a través de ellos, o sea, este es el planeta -se refiere a una canica que tenía en la mano- y tiene un huequito pequeño acá -señala el centro de la canica-, entonces pasa a través de ellos y el cuerpo se puede mover.

E1: El movimiento de los planetas se debe a que el hilo atraviesa cada uno de ellos, permitiéndoles tener un movimiento y que no se choquen.

E2: Pero yo lo que estaba pensando era que además la telaraña no solo se forma con los planetas, sino con las estrellas.

E3: Pero podemos decir que los planetas se juntan al sol, cada uno con sus hilos y después las estrellas se juntan con sus hilos alrededor de la galaxia. -Explica a sus compañeros de manera gráfica- que pase un hilo a la estrella, la estrella se mueva alrededor de ese hilo y haga que los planetas se muevan.

E2: Vea podemos poner que, además, cada planeta tiene su propio hilo alrededor del sol.

E1: ¿O sea que los hilos los están convirtiendo en una órbita?

E3: El hilo del planeta es la órbita.

Este diálogo entre los integrantes del grupo G1 muestra que, poseen ciertas ideas intuitivas de otras perspectivas sobre el fenómeno de la gravitación, basadas en una idea del espacio como un continuo, hasta se podría decir que estas intuiciones reflejan un breve acercamiento a la descripción de la estructura del espacio tiempo einsteniano. Lo anterior, muestra que vale la pena darles la oportunidad a los estudiantes para que reflexionen sobre preguntas fundantes de las teorías físicas, pues usualmente se subestima la calidad de sus razonamientos. Es curioso que esto suceda porque refleja la perspectiva de ciencia desde la cual están formando a los estudiantes, una perspectiva que por la búsqueda de seguridad y certeza difumina la posibilidad de construir una ciencia escolar (Romero, 2013b) en la que los estudiantes sean sus protagonistas. Según Feyerabend (1986) si hay algo verdadero en la historia de la ciencia es el lema: *todo sirve*, en otras palabras, no hay forma de avanzar a una mejor comprensión de la ciencia sino se piensa por fuera de los límites que las teorías conocidas establecen, la física más que conocimientos objetivos y verdades absolutas se constituye en una forma de hacer entendible y transformable el mundo físico que rodea a los sujetos (García, 2011; Romero, 2013a). En palabras de Feyerabend (1986):

Resulta claro, pues, que la idea de un método fijo, o la idea de una teoría fija de la racionalidad, descansa sobre una concepción excesivamente ingenua del hombre y de su contorno social. A quienes consideren el rico material que proporciona la historia, y no

intenten empobrecerlo para dar satisfacción a sus más bajos instintos y a su deseo de seguridad intelectual con el pretexto de claridad, precisión, objetividad, verdad, a esas personas les parecerá que sólo hay un principio que puede defenderse bajo cualquier circunstancia y en todas las etapas del desarrollo humano. Me refiero al principio *todo sirve*. (p.12)

Por su parte, el G2¹⁶ fue un poco tímido a la hora de enfrentarse con la actividad de apertura, pues como se dijo anteriormente se les colocó en una posición que era nueva para ellos, ya no estaban siendo receptores, sino más bien constructores de los conceptos. Como en el G2 había un nuevo integrante que en la S2 estaba en el G1, los primeros momentos de la actividad de apertura estuvieron un poco tensionados, puesto que se dedicaron a discutir sobre las definiciones de gravedad que habían pensado en la sesión pasada, una vez superaron dicha confrontación se centraron en construir la nueva definición de gravedad. Para este grupo las masas en el sistema solar no tienen el mismo orden de importancia, hay una diferencia entre el Sol y los demás cuerpos celestes que habitan el sistema solar. Al Sol, los integrantes del G2 lo llamaron *masa superior*, a la cual se le otorgó la capacidad de inducir un orden a los planetas a través de una fuerza que los atrae hacia él. Aunque esto parezca una perspectiva newtoniana, no lo es completamente, pues para Newton en el sistema solar no existen lugares o masas privilegiadas, este razonamiento se vuelve interesante porque sin pensarlo los estudiantes del G2 se estaban empezando a mover hacia otra perspectiva del mundo físico como se verá un poco más adelante. Lo descrito en este párrafo se encuentra consignado en la transcripción de la participación del G2 en la actividad de apertura de S3:

E4: Bueno, nos dice que la gravedad es una atracción, lo vimos la semana pasada, entonces cambiemos ese significado, podemos decir que la gravedad es el peso que ejerce un objeto.

E7: Sería lo mismo, si lo ponemos en peso, sería lo mismo.

E4: No porque es atracción, nos dice que la gravedad es atracción, si nosotros decimos peso es otra cosa.

E7: Mmm.

E8: Por ejemplo, la gravedad del sol, si nosotros estamos allá la fuerza que nos ejerce nos aplasta, porque es mucha fuerza, entonces podemos decir que es el peso que ejerce sobre nosotros o sobre un objeto. En síntesis, la gravedad se podría interpretar como la masa que ejerce una fuerza hacia un objeto.

E7: Ustedes como hicieron la definición de la semana pasada, de cómo giraban, de por qué.

¹⁶ En la S3 el G2 estuvo conformado por: E4, E7, E8 y E9.

E4: Por una atracción, pues cada uno se atraía, había una masa superior que era el Sol, el Sol atraía todo pero los planetas están divididos, cómo hacen para no chocarse, cada uno se atrae, entonces por ejemplo la luna sigue a la Tierra, a la Tierra la sigue Saturno y entonces por eso es por lo que hace esa órbita, porque por eso es que giran alrededor.

E7: Nosotros más o menos lo planteamos así, la gravedad o la fuerza que ejerce el sol es la que hace que cada planeta esté en un eje, como digamos, usted necesita más gravedad que yo y yo menos que la que necesita Isa, entonces nos vamos repartiendo los ejes, ¿sí me hago entender?

E4: Entonces podemos decir, en nuestro sistema solar hay una masa superior que es la que ejerce la fuerza hacia los planetas, haciendo que se mantengan en órbita. Podríamos plantear que el Sol es la masa superior que atrae a los demás planetas.

E7: Yo pondría, en diferentes fuerzas de atracción, por lo que yo decía, pues por lo que cada uno necesita una atracción diferente a la otra.

E8: Ah entonces cómo así, ¿el Sol atrae de una manera a la Tierra y diferente a Saturno?

E2, E7 y E9: responden que sí.

E8: Claro, porque tienen diferente masa.

Es importante notar que el G1 estuvo más dispuesto a cambiar su perspectiva sobre la gravedad abandonando, aunque con dificultades al mundo newtoniano, por su parte G2 estuvo un poco más aferrado a la concepción de la gravitación que habían desarrollado en la S2. En la actividad de desarrollo esto cambió, pues a partir de dos actividades experimentales los estudiantes se acercaron a las perspectivas de Descartes y Euler sobre el fenómeno de la gravitación, lo cual sirvió como lluvia de ideas y les permitió modificar brevemente lo que inicialmente habían planteado.

Con la intención de unir a los dos colectivos de pensamiento (G1 y G2) para realizar un trabajo de manera conjunta se decidió que en la actividad de desarrollo ambos grupos llevaran a cabo juntos las actividades experimentales.

En un primer momento, se les leyó una historia protagonizada por Juan y Camilo quienes representan a Euler y Descartes, respectivamente. Camilo va donde Juan con muchas dudas pues no estaba de acuerdo con Maribel, quien afirmaba que la gravedad era otorgada a la materia por una deidad en forma de un poder de atracción. Tras una ardua discusión, Juan le menciona a Camilo la existencia del éter, se lo imagina como tela elástica que rodea a los cuerpos, aquellos con mayor masa deforman de manera más fuerte la tela, esto implica que los cuerpos con menor masa se vean obligados a tender hacía él. Aunque a Camilo le parece interesante esta mirada, él menciona que, no es un éter, sino que los cuerpos celestes están sumergidos en un lago extenso de materia celeste, la cual tiene la propiedad de girar, aquellos cuerpos con mayor masa producen en ese lago de

materia celeste remolinos más fuertes que los de masa más pequeña, por lo que en el sistema solar todos los cuerpos orbitan alrededor del Sol.

A partir de esta lectura se les entregó a los estudiantes unas telas, marcos de madera, puntillas, masas de diferentes tamaños, canicas de diversos colores, un motor giratorio que estaba pegado a una caja donde a su vez había una batería, imanes, agua pintada de azul y un recipiente de vidrio. Con estos materiales debían tratar de construir un modelo para representar la gravitación tal y como la concebían Juan y Camilo en la historia.

Realmente se pensaba que a los estudiantes les iba a dar mucha dificultad enfrentarse con estas actividades experimentales, pues no había un recetario, solo una historia donde unos personajes contaban sus ideas sobre la gravedad, pero la curiosidad de ellos salió a flote y realizaron los montajes respectivos relativamente rápido. A continuación, se relata cómo fue este proceso con base en los diarios de campo de I1 e I2 de la S3.

Primero tomaron el marco de madera y le pegaron la tela al contorno de este utilizando las puntillas, luego tomaron la masa más grande y E4 recomendó que la pusieran en el centro porque según él *representaba al sol mayor*, idea que fue aceptada por todos, pues ya tenían la intención de formar una especie de deformación en la tela de tal manera que, si se lanzaban unas canicas estas dieran unas vueltas alrededor del centro, o mejor dicho, recorrieran una especie de *órbita* respecto al centro.

Similarmente, sucedió con la construcción de los remolinos de Descartes, los estudiantes empezaron a observar la caja del motor giratorio y se dieron cuenta que si conectaban a la batería unos cables sueltos que tenía el motor, este comenzaba a girar. Al observar que el motor giratorio tenía pegado un imán colocaron encima de la caja al recipiente de vidrio con otro imán dentro, allí se dieron cuenta que, al girar el motor, también giraba el imán en el recipiente, por lo cual echaron el agua en el recipiente de vidrio visualizando la formación de un remolino. Después de observar esto, los estudiantes echaron en el agua una bola amarilla que se colocó justo en el medio del remolino simulando al Sol, luego echaron bolitas más pequeñas de diferentes colores que empezaron a seguir el remolino alrededor del Sol, formando así un *sistema solar cartesiano*.

A continuación, se muestran algunas evidencias fotográficas de la actividad de desarrollo de la S3 realizada por G1 y G2 de manera conjunta.

Figura 31

Construcción de un sistema solar euleriano por parte de G1 y G2 en S3



Nota. La figura muestra el sistema solar euleriano construido por G1 y G2 en S3. Fuente: material de las implementaciones.

Figura 32

Construcción de un sistema solar cartesiano por parte de G1 y G2 en S3



Nota. La figura muestra el *sistema solar cartesiano* construido por G1 y G2 en S3. Fuente: material de las implementaciones.

Una vez terminadas las actividades experimentales, G1 y G2 continuaron con la actividad de desarrollo, allí se les preguntaba si después de hacer los experimentos querían reconsiderar las definiciones de gravedad que habían construido en la actividad de apertura.

El G1 comentó que no la cambiaría, pero que sí le haría algunas modificaciones a su idea inicial relacionada con hilos invisibles que atraviesan a los planetas en una telaraña que tiene como centro al Sol. Adicional a esto, este grupo adoptó la perspectiva cartesiana de los remolinos celestes porque les ayudaba a explicar de forma más sencilla el mecanismo que les induce la atracción de los planetas por el Sol. Lo anterior, se encuentra en la siguiente transcripción de la participación de G1 en la actividad de desarrollo de la S3.

E5: -Lee la pregunta- Después de leer el relato y hacer los experimentos ¿cambiarían la definición de gravedad que ustedes propusieron en la actividad de apertura? Justifica tu respuesta.

E5: **No la cambiaremos, pero la ajustaremos, la ajustaremos con la idea que me diste ahora.**

E2: ¿Cuál fue la idea que te di ahora?

E5: No me acuerdo, era algo como que podíamos... Estaba leyendo esto y... Usted me dijo que la podíamos reforzar poniendo, fue algo del remolino, piense, piense otra vez.

E3: ¿Ponerlos en agua y por un remolino se mueven de un lado a otro?

E5: No, eso no... Ah, me dijiste que la telaraña servía como una manta, así como lo que hizo Juan.

E3: Mmm, eso sí suena interesante.

E2: **Ya pensé otra cosa, o sea, hacer lo mismo de esto, pero con el torbellino, y como dijimos que cada planeta tiene su hilo alrededor, entonces este al girar crea un remolino.**

E5: Este remolino hace girar todo...

E2: **Y por así decirlo, o sea, imagínese un hilo, entonces cuando usted empieza a envolver un hilo, y como que... -muestra con el dedo sobre la mesa que el hilo se envuelve sobre el planeta-**

E5: Atrae.

E2: Ajá.

E3: **O sea, decimos que no la cambiaremos, sino que la modificaremos.**

-Todos dicen que la van a modificar-

E5: **Lo modificaremos, queda así, al aparecer un torbellino haría que todos los cuerpos por el movimiento que va haciendo, se sientan atraídos (o sean envueltos) a través de los hilos por la fuerza mayor del Sol.**

Por otro lado, en G2 hubo ciertas divisiones internas, E4 y E8 afirmaban que la definición construida estaba bien porque concordaba con los planteamientos de Juan. E7 no estaba tan convencida de esto, afirmó que era mejor replantear la definición de gravedad, desde su perspectiva

la fuerza gravitacional emana del Sol y atrae a los planetas en forma de espiral, un punto de vista bastante cartesiano. Sus compañeros no quisieron cambiar sus planteamientos porque según E4, E8 y E9 Juan quiere decir que el Sol por ser una *masa superior* atrae a los demás planetas. Y puede decirse que esa interpretación no está del todo mal, pues en la perspectiva de Juan o más bien de Euler en el sistema solar hay un lugar privilegiado, ese lugar es donde se encuentra el Sol, dado que se deforma de manera más profunda el éter y los demás cuerpos celestes tienden a ese lugar, luego desde la mirada de Euler podría considerarse al Sol como una *masa superior*. Esto refleja que en la construcción del conocimiento científico las perspectivas diversas son más normales de lo que se piensa, y aprender a estar en un equipo sin eliminarse por no estar de acuerdo, también caracteriza a una persona con flexibilidad para ceder ante buenas razones (Restrepo et al., 2013). La conclusión del G2 respecto a su perspectiva final de la gravedad se presenta en la siguiente figura tomada del taller que entregaron cuando culminó la S3.

Figura 33

Perspectiva final del concepto de gravedad del G2 en S3

• Después de leer el relato y hacer los experimentos, ¿cambiarían la definición de gravedad que ustedes propusieron en la actividad de apertura? Justifica tu respuesta.

No la cambiaríamos porque pusimos el sol como la masa superior que atrae los planetas, esto se ve reflejado en el de Juan

Nota. La figura muestra la perspectiva final del concepto de gravedad del G2 en S3.

Fuente: material de las implementaciones.

¹⁷Como punto final de la S3 se formó la mesa de diálogo que tuvo como representantes a E5 de G1 y a E4 de G2. La idea de esta actividad era que los integrantes de la mesa de diálogo en calidad de filósofos naturales debían decidir cuál de las dos perspectivas que habían construido como explicación de la gravedad era la más adecuada para ser presentada a los reyes de *Nueva Prusia*. Los estudiantes E5 y E4 iniciaron exponiéndose mutuamente las definiciones de gravedad que habían construido, al principio parecía que E4 estaba reacio a ceder ante los planteamientos de E5, lo cual por un momento generó incomodidad en la mesa de diálogo, por ello E5 expresó si era posible que la cambiaran por otro integrante del G1. Aun así, E5 le insistió a E4 que debían definir cuál iba a ser la nueva definición de gravedad, esta vez E4 estuvo un poco más flexible, por lo cual, E5 le propuso que unieran las definiciones construidas en lugar de eliminar alguna de ellas. Es así, como consiguen construir una nueva definición de gravedad que cohesiona las ideas de los grupos G1 y G2.

Además, en esta actividad se les recordó que una de las exigencias de los reyes de *Nueva Prusia* era que dicha definición debía reconciliarse con la existencia de una deidad, esto se hizo con la intención de ponerlos en un contexto similar al vivido por científicos como Descartes, Newton y Euler. Aunque se pensó que esto los iba a molestar o a incomodar, los estudiantes de ambos grupos se mostraron flexibles a establecer dicha relación y lo hicieron con relativa facilidad, lo cual se demuestra por la participación de sus representantes en la mesa de diálogo.

Lo descrito en los dos últimos párrafos se encuentra respaldado por la transcripción de la mesa de diálogo de la S3 y también por la comunicación que entregó la mesa de diálogo a los grupos G1 y G2 con la decisión que tomaron.

E5: Bueno, en mi equipo pusimos que los cuerpos existentes están unidos por un hilo invisible que forma una conexión en forma de telaraña, los planetas se pueden mover ya que los hilos atraviesan, permitiendo movimiento. La modificamos poniendo que: abajo de la telaraña pusimos un torbellino que, al hacer girar cada planeta, el hilo se empezaría a enrollar y se siente atraído por una masa mayor, la masa mayor sería pues el Sol. ¿Qué puso usted en la definición...?

E4: La deidad se presenta en el Sol ya que esta es la fuerza superior que sostiene los planetas y los mantiene en órbita.

E5: Este dios sostiene los hilos del universo y de esta forma les da movimiento, o sea, las dos concuerdan, las dos sostienen y ambas en movimiento. Y en la definición de gravedad, pues no sé las dos concuerdan bien, pero...

¹⁷ Desde este punto inicia el análisis del segundo indicio de esta subcategoría.

E4: La mía es mejor...

E5: ¿Me cambian? -le pregunta a su equipo-

E4: Bueno, perspectivas de las decisiones tomadas por la mesa de concertación -Este estudiante insistía en continuar con la otra parte de la mesa diálogo pues para él su definición era mejor-

E5: Pero tenemos que escoger, ¿cuál explicación vamos a dar de la definición de la gravedad?

E4: ¿Cuál dices tú?

E5: Pues las dos se pueden combinar, porque las dos concuerdan bien, las dos hablan de un movimiento, ¿qué puso usted?

E4: Que una masa superior lo atrae.

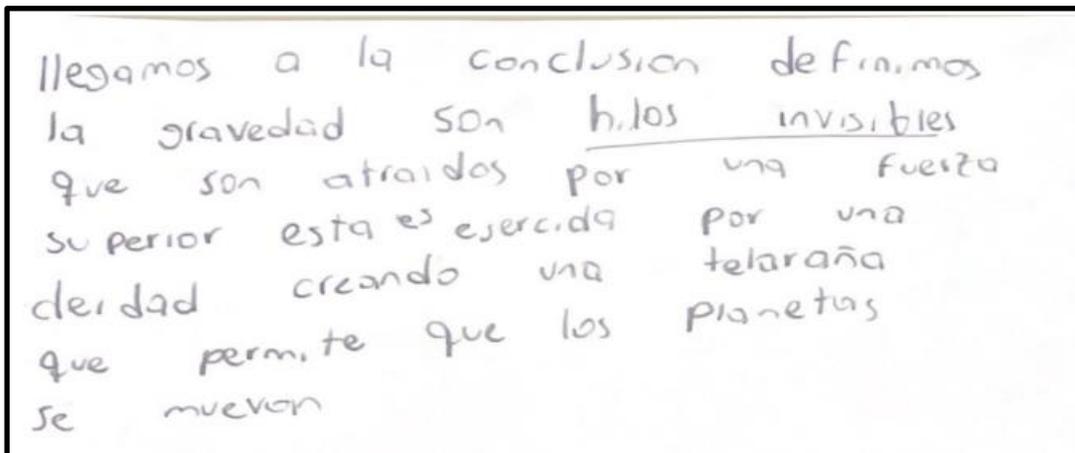
E5: (...) nosotros pusimos que cada planeta tenía de por sí un hilo invisible que se iba integrando. O sea, la fuerza mayor tuya es el sol y el hilo invisible de nosotros son los planetas (...).

-Comienzan a escribir el acuerdo de la mesa de concertación-

E4: Llegamos a la conclusión, definimos la gravedad son hilos invisibles que son atraídos por una fuerza superior, esta es ejercida por una deidad creando una telaraña que permite que los planetas se muevan. ¡Ya! -comunica a I1 que ya terminaron de decidir.

Figura 34

Conclusión mesa de diálogo de S3



llegamos a la conclusion de firmamos
la gravedad son hilos invisibles
que son atraidos por una fuerza
superior esta es ejercida por una
deidad creando una telaraña
que permite que los planetas
se muevan

Nota. La figura muestra el acuerdo al que llegaron E4 y E5 en la mesa de diálogo de la S3. Fuente: material de las implementaciones.

En comparación con la mesa de diálogo de la S2 esta estuvo más calmada, pues E5 desde un inicio le propuso a E4 que se escucharan, esto con el fin de que la decisión final sobre la nueva definición de gravedad fuese tomada atendiendo a las perspectivas puestas en juego. Aunque E4 en un principio estaba ensimismado en la definición de su grupo, poco a poco fue cediendo y logró finalmente establecer un acuerdo. El comportamiento de E4 se corresponde con el estándar de pensamiento propuesto por Paul y Elder (2005) denominado Humildad Intelectual, según estos

autores un estudiante con esta característica admite sus errores y modifica sus puntos de vista si encuentra buenas razones para hacerlo. De forma similar, E5 se caracterizó por demostrar Empatía Intelectual, puesto que reconoció “(...) la necesidad de ubicarse con la imaginación en el lugar de los otros, para comprenderlos genuinamente” (Paul y Elder, 2005, pp. 31-32).

Siendo justos en la S3, todos los estudiantes demostraron poseer empatía y humildad intelectual tanto con los miembros de su mismo grupo como con los del otro. Esta sesión no era sencilla, en primer lugar, porque había que aventurarse a definir un concepto de manera diferente a la perspectiva aprendida en S2 y en segundo lugar, porque continuamente se les pedía repensar la definición construida desde el inicio. Para sorpresa de los investigadores los estudiantes no pusieron tanta resistencia a este proceso, se cree que esto sucedió principalmente por las actividades experimentales y la historia, pues estos insumos aportaron nuevas ideas que poco a poco les ayudaron a ir modificando sus planteamientos iniciales. La experimentación cualitativa exploratoria y la construcción de explicaciones, nuevamente se tejen como el espacio propicio para convencer y dejarse convencer por el otro, o más bien, para desarrollar en el estudiante la capacidad de examinar y modificar sus puntos de vista siempre que le ofrezcan buenas razones para hacerlo (Arcá et al.,1990; Shapin, 1995; Romero 2013a; Restrepo et al., 2013).

En un país tan complejo social y culturalmente como lo es Colombia, donde en los últimos años se ha convertido tan importante que la ciudadanía se encuentre y se escuche, este tipo de propuestas de enseñanza se vuelven vitales para formar a ciudadanos que contribuyan a la generación de una cultura para la paz, así como lo exige la IECE desde sus documentos rectores (Aguilar et al.,2018).

En correspondencia con el análisis realizado para esta subcategoría, es posible decir que, la propuesta didáctica, en particular la sesión S3, contribuyó a que los estudiantes tuvieran la oportunidad de construir hipótesis y modificarlas con base en debates y actividades experimentales. De igual forma, propició espacios de discusión que permitieron construir acuerdos entre perspectivas diferentes, lo cual resulta fundamental en la actualidad para construir la tan anhelada paz en el país.

Tabla 9

Relación entre los indicios de la subcategoría 4, sesiones y grupos donde se evidenciaron

Indicios	Sesiones y grupos
Examinan de forma constante sus explicaciones con la finalidad de modificar su postura o mantenerla.	Actividades de apertura y desarrollo de la S4 (G1 y G2)
Al momento de construir consensos tienen en cuenta las explicaciones de todas las partes involucradas estando dispuestos a modificar sus planteamientos para llegar a un acuerdo con las explicaciones de los demás.	Mesa de diálogo de la S4 (G1 y G2)

Nota. La tabla es una construcción propia.

Implicaciones Didácticas y Consideraciones Finales

Reflexiones sobre la Implementación de la Propuesta Didáctica

Las prácticas pedagógicas finales se configuran como un espacio donde los maestros en formación se enfrentan a los desafíos de la profesión docente asumiendo un rol importante en los procesos de enseñanza y aprendizaje de su saber específico. Esta inmersión en los contextos educativos se establece como una oportunidad para que los maestros en formación identifiquen problemáticas en dichos procesos y construyan posibles soluciones a ellas. Sin embargo, en muchas ocasiones el material didáctico construido en los procesos de investigación no queda en las instituciones educativas donde se llevaron a cabo para que pueda ser utilizado en caso de que los maestros lo consideren pertinente, tal es el caso del contexto de la IECE.

Por lo anterior, en esta investigación desde un inicio se hicieron esfuerzos para que la propuesta didáctica construida pudiera ser entregada en una cartilla a los estudiantes del semillero de física, al maestro cooperador, a la coordinadora académica y a la bibliotecaria. Esto con la intención de hacer una devolución a la IECE, a su profesor de física y a sus estudiantes a modo de nuevas ideas o formas diferentes de abordar los conceptos en las clases de física. En la siguiente

figura se muestra evidencia de la entrega de las cartillas a los estudiantes del semillero de física y a la bibliotecaria de la institución, por su parte, en el registro fotográfico (ver anexo E) se encuentran las evidencias fotográficas de las cartillas entregadas al maestro cooperador de la institución.

Figura 35

Entrega de las cartillas didácticas a los estudiantes del semillero de física y a la bibliotecaria de la institución educativa



Nota. La figura muestra la entrega de las cartillas didácticas a los estudiantes del semillero de física y a la bibliotecaria de la institución. Fuente: material de las implementaciones.

Respecto a la construcción e implementación de la propuesta didáctica es necesario resaltar que fue un proceso complejo.

En primer lugar, realizar el estudio histórico crítico sobre las perspectivas de Descartes, Newton y Euler respecto al fenómeno de la gravitación fue un trabajo bastante intenso porque exigía leer obras científicas diferentes buscando pistas sobre las explicaciones que proporcionaron para el origen físico de este fenómeno.

En segundo lugar, el proceso para hacer la transposición didáctica de estas perspectivas fue un momento de incomodidad, introspección y búsqueda, hasta el momento en que se encontró las

propuestas de Acevedo et al. (2017) en las que contextualizan los modos de explicación de los científicos a través de historias o relatos, en el caso de esta investigación se decidió crear tres personajes Camilo, Maribel y Juan quienes representaban a Descartes, Newton y Euler, respectivamente. A través de las aventuras de los tres amigos se pudieron contextualizar en el semillero de física las perspectivas de estos científicos sobre el origen físico de la gravedad y la forma en cómo actúa en los cuerpos.

En tercer lugar, fue un poco difícil tener el espacio para implementar, puesto que el maestro de física le exigía a los participantes cumplir también con el desarrollo de las actividades de las clases que no asistían, por esto los investigadores en horarios extra clase y de forma virtual ponían al día a los estudiantes. No obstante, es importante reconocer que poco a poco el maestro de física cedió al igual que los maestros de otros cursos como estadística y cálculo, otorgando a la participación en el semillero un porcentaje de la nota final del segundo periodo, lo cual contribuyó a mantener la asistencia de todos los estudiantes a dicho espacio de formación.

En cuarto lugar, también resulta importante destacar que en ciertos momentos hubo un temor de construir actividades experimentales físicas o mentales de carácter exploratorio porque se pensaba que los estudiantes se iban a desconcentrar o desanimar por no tener una guía precisa de lo que debían construir con los materiales facilitados, para sorpresa de los investigadores los estudiantes continuamente comprendieron las finales de las actividades experimentales construyendo cada grupo interesantes y creativas explicaciones a partir de ellas. Esta experiencia se convierte en un llamado a confiar más en los estudiantes porque tienen muchas más capacidades de lo que usualmente se piensa.

Por último, se convirtió en un desafío mantener la concentración de los estudiantes en las actividades de cierre porque estas consistían en mesas de diálogo integradas por un representante de cada grupo, lo cual ocasionó en varias ocasiones que el resto de los estudiantes se pusieran a conversar entre sí y perdieran la atención de lo que sucedía en dicho espacio de conversación y debate. En vista de esto, para las últimas sesiones del semillero de física se decidió que las mesas de diálogo estuvieran integradas por todos los estudiantes de ambos grupos, lo que terminó siendo una buena estrategia para que tuvieran debates de forma mucho más animada y pasional.

En síntesis, construir e implementar la propuesta didáctica fue un proceso complejo que permitió a los investigadores vivir de forma experiencial los desafíos y las dificultades que son

naturales a la profesión docente, más aún cuando en esta actividad se intentan proponer otras alternativas para la enseñanza de la física encaminadas a construir junto con los estudiantes una ciencia escolar de forma crítica y discursiva.

Conclusiones Derivadas de la Investigación

Antes de reflexionar sobre las conclusiones derivadas de la investigación es necesario resaltar que estas son limitadas, obedecen al contexto de la IECE, más precisamente al análisis de los intercambios dialógicos que emergieron en las sesiones del semillero de física. Por lo anterior, en concordancia con los planteamientos de Stake (1999), estas conclusiones no son generalizaciones ni pretenden dar a entender que con esta investigación se solucionan todas las problemáticas de la IECE respecto a la enseñanza y al aprendizaje de la física.

Ahora bien, la problemática de esta investigación inició cuando los investigadores evidenciaron que, la participación de los estudiantes en las clases de física de los grados décimo era escasa, reduciendo su papel al de ser unos meros receptores de los conocimientos validados por una comunidad científica, lo cual tenía como consecuencia que los estudiantes percibieran a la física como un conjunto de conocimientos apartados de sus creencias, experiencias y pensamientos. Esto a su vez, hacía que los estudiantes no tuvieran confianza en sí mismos para construir sus propias explicaciones y defenderlas al entrar en debate con perspectivas diferentes a las propias. En síntesis, la génesis del problema de investigación radicó en que las propuestas de enseñanza contextualizadas en las clases de física no solían propiciar espacios para la generación de procesos discursivos entre los estudiantes.

En vista de lo anterior, como pregunta de investigación se planteó la siguiente: ¿Cuáles son las posibles contribuciones de una propuesta didáctica en la que se plantean reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia, en torno al fenómeno de la gravitación, para la generación de procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo de una institución educativa pública en el municipio de Envigado?, a su vez como objetivos específicos se plantearon dos: (1) Identificar con base en los discursos de los estudiantes posibles contribuciones de las reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación para la comprensión de la práctica científica desde una perspectiva sociocultural y (2) Describir los posibles aportes de la

experimentación cualitativa para la construcción, defensa y validación de explicaciones relacionadas con situaciones físicas que involucran al fenómeno de la gravitación.

Con base en estos objetivos específicos se construyeron cuatro subcategorías de investigación, las cuales fueron: (1) El perspectivismo como característica inherente a la construcción de conocimiento sobre el fenómeno de la gravitación, (2) el trabajo científico como actividad humana, (3) construcción y defensa de explicaciones científicas, (4) validación de explicaciones y flexibilidad de pensamiento.

Respecto a la primera subcategoría se halló que la propuesta didáctica permitió a los estudiantes comprender que el fenómeno de la gravitación no necesariamente posee una única explicación y además que asumir alguna de ellas no elimina la posible veracidad de las otras.

En relación con la segunda subcategoría se encontró que la propuesta didáctica permitió contextualizar en el semillero de física al trabajo científico como una actividad humana, en tanto que los estudiantes comprendieron que la idiosincrasia de las personas tiene un fuerte vínculo con el grado de aceptación de las ideas científicas, además algunos y algunas manifestaron cambios en su autoconfianza para aprender física y en sus habilidades para trabajar en equipo.

Por último, los hallazgos de las subcategorías tres y cuatro muestran que la experimentación cualitativa exploratoria emerge como el espacio propicio para convencer y dejarse convencer por el otro, siempre que mutuamente se planteen buenas razones o justificaciones. En los procesos experimentales los estudiantes se dieron la oportunidad de equivocarse, debatir, discernir, ceder, enojarse, defenderse y buscar acuerdos. Aptitudes naturales a la práctica científica pero que también son indispensables para construir la tan anhelada paz en el país.

En conclusión, el semillero de física fue un espacio de formación en donde se pudo contextualizar una enseñanza de la física que intenta abandonar la transmisión de verdades absolutas, brindando la oportunidad a los estudiantes para que, a través de procesos discursivos y actividades experimentales, vivan la complejidad de intentar comprender un mundo natural que requiere ser construido y validado socialmente. Con respecto a esto, algunos estudiantes cuando se les preguntó en sus entrevistas qué se llevaban de su experiencia en el semillero mencionaron lo siguiente:

E2: (...) en el semillero era como deme usted su idea y aunque no sea la más aceptada, por así decirlo, por el mundo científico, yo no le voy a decir que sea mala, es lo que usted piensa y está bien y si la puede explicar pues aún mejor. Digamos que siempre se ha hecho en los colegios o escuelas, así en la educación, que el profesor es el que explica y entonces usted simplemente hace caso. **Digamos que se quita un poco la creatividad y se va como a ser todo muy, no sé si se diga así, muy cuadriculado, digamos que en el semillero fue mucho más situacional, es como más propio de cada uno y digamos que eso es diferente y aporta más al pensamiento individual de cada uno. (...) Principalmente me llevo del semillero esa manera diferente de aprender, de decir que yo soy por así decirlo el protagonista, digamos no tanto el profesor (...) y que experimentar es muy importante para el conocimiento.**

E6: Bueno, por ejemplo, en una clase normal, pues por lo general, no nos llevan a hacer como (...) ejercicios prácticos, es decir, por lo general una clase normal se compone de mucha teoría, en cambio, pues en este semillero vimos práctica con lo del ascensor, con lo de la representación de la gravedad, con los sistemas solares, es decir, fue más práctica que las clases que normalmente tenemos. (...) **Otra cosa, en una clase normal de física, por lo general no se tienen discusiones, es decir, no hay un debate abierto precisamente por eso, porque partimos de una base a la que no se le da el beneficio de la duda, en esta vez pues obviamente hubo un debate abierto, hubo bastante discusión, hubo distintos planteamientos, hubo distintos pensamientos, eso me lleva a pensar en otra cosa, que siento que es de hecho una cosa que considero muy importante y que ya la he repetido, y es que, este semillero invita a pensar y no quiero eso pase desapercibido, porque por ejemplo en una clase normal de física uno se deja llevar por la corriente y da cosas por hecho, en cambio acá, pues uno está como más tirado hacia la incertidumbre y hacia investigar. (...) En una clase normal de física, por ejemplo, tampoco nos hablan de historia o incluso la historia es muy mínima, por ejemplo, en el semillero pues nos hablaban de la historia de unos científicos e incluso nos los representaban con niños, con historias y con cuentos, eso me pareció muy interesante, creo que puede calar más así en el estudio de la física.**

Reflexiones como Maestros de Matemáticas y Física

A continuación, se hará una reflexión de forma individual sobre los aportes de la investigación en nuestra formación como maestros de matemáticas y física.

Juan Pablo Acevedo Quevedo

En este apartado, escribe una persona que continuamente se preguntó si podría ser maestro, que con angustia y a veces con desespero intentaba encontrar una forma de asumir el conocimiento disciplinar de forma diferente, una forma que trascendiera el hecho de transmitir a los estudiantes verdades estáticas, frías y sin ninguna relación con sus experiencias. Por fortuna en el curso didáctica de la física logré encontrar una maestra que nos dijo: *si el saber disciplinar no es un problema para el maestro, mucho menos lo será para los estudiantes*. Ahí comprendí que, el

acercamiento de un maestro de física a su saber disciplinar debe procurar ser crítico y reflexivo, lo cual lamentablemente es muy complejo lograr con el estudio de un libro de texto. Es así como la lectura de obras originales se vuelve vital para el maestro que busca comprender a la física como una práctica humana en donde el sujeto no sólo se involucra desde su capacidad intelectual, sino también desde su propia subjetividad. Estas lecturas le puedan aportar al maestro algunos insumos para que en sus prácticas pedagógicas logre superar el enfoque en los resultados, moviéndose poco a poco hacía el enfoque en los procesos, el cual implica, por ejemplo, no sólo exponer los resultados del saber de Newton, sino también las angustias que vivió al desarrollar sus teorías y los cuestionamientos que él nunca pudo responder.

Es decir, más allá de ver la escuela como el espacio para acercar a los estudiantes a los resultados de la física, se trata de crear las condiciones para que ellos desde sus propias experiencias tomen posturas críticas respecto a lo que está validado por la comunidad científica, configurando así a las clases de física, como el espacio propicio para construir junto a los estudiantes un tipo especial de ciencia, la ciencia escolar.

No se trata entonces de señalar caminos seguros, ni tampoco de mostrar a los estudiantes una física en la que todas las respuestas están dadas *a priori*, desde una perspectiva sociocultural de la enseñanza de las ciencias, la escuela se convierte en un espacio para experimentar la vida desde todas sus dimensiones, lo cual implica crear las condiciones para que los estudiantes habiten la complejidad y la incertidumbre que son inherentes al trabajo de construir explicaciones sobre un mundo natural que requiere ser validado de forma colectiva. Soy consciente que esto no es fácil, que no falta, ni faltará a quien le parezca absurdo o un sueño lo expuesto anteriormente, pero si no soñamos con la posibilidad de una enseñanza diferente, es posible que la llama se marchite, que se vaya apagando poco a poco, el sueño o la utopía se vuelve necesaria para mantener vivo el compromiso con la lucha por una sociedad más democrática y pacífica que como maestros decidimos asumir.

En este sentido, esta investigación, aunque pequeña fue reveladora porque nos permitió vivir la posibilidad de una enseñanza de la física diferente donde los estudiantes fueron los protagonistas y establecieron profundos debates con los planteamientos de Descartes, Newton y Euler sobre el fenómeno de la gravitación.

Maribel Hoyos Valencia

Quiero comenzar diciendo que este trabajo me permitió reconocermé aún más como una docente en formación a puertas de ser docente, que toma en este trabajo y tomará en su quehacer docente a las ciencias como una excusa y medio que permitió y permitirá formar ciudadanos, sujetos críticos para la vida en sociedad. Ahora bien, como docente de práctica, este trabajo de investigación me permitió mostrarme que es posible hacer ciencia involucrando a los estudiantes como parte del conocimiento, que no son vasos u objetos vacíos que el profesor llena con su saber disciplinar, sino que es posible a partir de los conocimientos previos de los estudiantes orientados por la labor pedagógica del docente, lograr la construcción de aprendizajes y saberes.

Adicionalmente, puedo afirmar que la naturaleza de las ciencia en combinación con la experimentación cualitativa como base de la investigación y propuesta didáctica hicieron chispas en el desarrollo de cada una de las implementaciones, pues los estudiantes del Semillero de Física cada día que pasaba se interesaban y lograban esa curiosidad que la mayor parte de la academia había robado en ellos, los convirtió en equipos dinámicos, participativos, críticos, que no se permitían el silencio durante la realización de las implementaciones en cada uno de los encuentros, así mismo, la transformación lograda en cada uno de los estudiantes me llena de emoción y escuchar cada una de sus intervenciones durante el tiempo de transcripción me permitió sentir emoción, movilizó dentro de mí la satisfacción de haber transformado o motivado aún más la chispa de la ciencia en cada uno de los estudiantes que hicieron parte de esta investigación en el Semillero de Física.

Juan Camilo Echavarría Villa

En lo que llevo en la universidad he visto que la formación docente es un proceso complejo que implica enfrentar diversos desafíos y desarrollar habilidades relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje. En este proceso investigativo, vi la importancia de la inmersión en los contextos educativos para identificar problemáticas y diseñar soluciones, como material didáctico y herramientas que no solo benefician al docente, sino también a la institución.

Uno de los aspectos más importantes es la participación de los estudiantes en las clases de física. Reconocer a los alumnos como protagonistas en la construcción de su conocimiento promueve un enfoque crítico y discursivo, motivarlos a comprender la importancia de su participación y a reconocer su propio potencial es uno de los objetivos más importantes en la formación docente.

En ese sentido, es esencial desarrollar herramientas pedagógicas que permitan a los estudiantes comprender la provisionalidad de las explicaciones científicas y reflexionar sobre la naturaleza de la misma ciencia. Esto contribuye a ampliar y contextualizar el contenido en la enseñanza de las ciencias naturales.

Por esto, nosotros como docentes debemos centrarnos en fomentar el pensamiento crítico y la capacidad de resolver problemas, en lugar de simplemente transmitir datos y fórmulas. Al hacerlo, los estudiantes adquieren una comprensión más profunda de conceptos científicos y podrán tomar la iniciativa para cuestionar y explicar no solo fenómenos naturales, sino también situaciones de su cotidianidad.

Recomendaciones y Perspectivas de Trabajo

En un mundo tan complejo como el actual en donde las reivindicaciones económicas adquieren poco a poco una gran importancia, las disciplinas humanas y científicas por ser en muchas ocasiones prácticas sin una utilidad inmediata pierden protagonismo en las escuelas con la excusa de que la formación debe tener como fin la inclusión de los graduados en el mercado laboral. Aunque esto es necesario y de vital importancia para que la sociedad avance, también lo es que los estudiantes tengan espacios para detenerse a pensar, experimentar y desintoxicarse del bombardeo tecnológico al que día a día están expuestos.

Durante la implementación de la propuesta didáctica se observó que a los estudiantes les costaba mucho comunicarse con los demás de forma asertiva, comprender un texto y escribir, cuando se les cuestionaba sobre el por qué les sucedía esto, comentaban que en su formación fueron pocos los espacios que se les daban para realizar dichas actividades. Esto es una pequeña muestra de que, así como es necesario pensar en contextualizar los avances tecnológicos en la escuela, también lo es dar mayor relevancia a las humanidades, pues son estas disciplinas las que finalmente

permiten comprender la importancia de preservar la democracia y de habitar al mundo desde la búsqueda del bien común.

En este sentido, se recomienda continuar haciendo esfuerzos para contextualizar en la escuela, una física que se nutre de las humanidades, una física desde la cual sea posible acercarse de forma reflexiva al conocimiento científico, formando en este proceso a ciudadanos con las capacidades para leer de forma crítica, comunicarse de forma asertiva con los demás y enfrentar la incertidumbre que es innata a la práctica de comprender un mundo natural cambiante y complejo.

Por lo anterior, surgen las siguientes preguntas a partir de la reflexión sobre los resultados de este trabajo y que pueden servir como orientación a futuras investigaciones.

- ¿Cuáles son las posibles contribuciones de las reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia para establecer en la escuela una relación entre la formación en física y la formación ciudadana?
- ¿Cómo debe ser la formación de los maestros en física en sus cursos disciplinares para que en sus prácticas pedagógicas puedan superar el enfoque en los productos o en la transmisión de verdades absolutas?, ¿cuál es el papel de la historia, la filosofía y la epistemología de la física en este proceso?
- ¿Cómo podría relacionarse la educación STEAM con la perspectiva sociocultural en la enseñanza de la física para lograr contextualizar en la escuela un conocimiento científico que se nutre en las mismas proporciones tanto de la tecnología y la innovación, como de la *indagación científica inútil*, las humanidades, las ciencias sociales y la filosofía?

Referencias

Arcá, M., Guidoni, P. y Mazzoli, P. (1990). *Enseñar Ciencia, cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base* (J.C. Gentile, Trad.). Ediciones Paidós Ibérica, S.A.

Arnold, M., y Rodríguez, D. (1990). El perspectivismo en la teoría sociológica. *Estudios Sociales*, 64(2), 27 – 41. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121745>.

Aguilar, Y., Restrepo, T., y Mejía, R. (2002). *El movimiento desde la perspectiva de sistema, estados y transformaciones* [Tesis de especialización, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional de la Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/7512>.

-
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19–3. https://www.fe.unicamp.br/pf-fe/publicacao/2343/49_dossie_ayalammam.pdf.
- Amelines, R P. y Rodríguez, R. D. (2008). *Principio de la gravitación universal desde una perspectiva histórica y epistemológica: del estado natural de los cuerpos, a la atracción gravitacional: una propuesta para el aula de clase* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/27720>.
- Aduriz, B. A. y Ariza, Y. (2013). Las imágenes de ciencia y de científico: una puerta de entrada a la naturaleza de la ciencia. En Aduriz, B. A., Dibarboure, M. y Ithurralde, S. (Eds). *El quehacer del científico al aula: pistas para pensar*. (1a ed., pp. 13 - 20). Fondo Editorial Queduca de la Federación Uruguaya de Magisterio.
- Acevedo-Díaz, D. J. y García-Carmona, C. A. (2017). *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Acevedo, D. J., García, C. A. y Aragón, M. (2017). *Enseñar y aprender sobre la naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de la historia de la ciencia. Resultados y conclusiones de un proyecto de investigación didáctica*. Iberciencia.
- Aguilar, Y., Pía, M., Vera, O., Anaya, J., Echeverri, J., Restrepo, C., Pareja, D. y Maya, M. (2018). Plan de Área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Institución Educativa Comercial de Envigado.
- Agudelo, J.F., Clavijo, S.J., y Ocampo, J.A. (2019). Sobre el conocimiento científico y la investigación narrativa en la escuela. *Kénosis*, 7(13), 29-48. <https://doi.org/10.47286/23461209.26>.
- Candela, A. (1999). *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. México, D.F.: Paidós Educador.
- Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoría - Ciencia, Arte y Humanidades*, 14(1), 61–71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29900107>.

-
- Castañeda, S.C. (2017). *El movimiento de los cuerpos debido a la gravitación: una explicación para estudiantes de grado décimo del Colegio Rosario de Santo Domingo* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64023>.
- Claret, V. H. (2019). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de la caída de los cuerpos: propuesta experimental* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional de la Universidad Pedagógica Nacional. <http://repositorio.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/11406>.
- Cardona, R. B. (2021). *Caracterización del error como una herramienta dinamizadora en el aprendizaje en el aprendizaje del fenómeno de gravitación universal a través del diálogo mayéutico* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80881>.
- Descartes, R. (1989). *El mundo, tratado de la luz* (G. Quintas, Trad.). Madrid, Alianza editorial.
- Descartes, R. (1995). *Los Principios de la filosofía* (G. Quintas, Trad.). Madrid, Alianza editorial.
- Díaz-Barriga, Á. (2013). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. UNAM, México, 10(04), 1–15.
- Euler, L. (1752). *Recherches sur l'origine des forces*. Memorias de la Real Academia de Ciencias de Berlín, 419 - 447.
- Einstein, A., y Infeld, L. (1986). *La evolución de la física* (K. Urrutia, Trad.). Salvat Editores, SA.
- Euler, L. (1988). *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*. Madrid, Alianza editorial.
- Euler, L. (1990a). *Carta LXXI: Sobre el movimiento y el reposo verdaderos y aparentes*. España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Euler, L. (1990b). *Carta LXIX: Sobre la naturaleza y esencia de los cuerpos; o bien sobre la extensión, la movilidad e impenetrabilidad de los cuerpos*. España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Euler, L. (1990c). *Carta LXX: Sobre la impenetrabilidad de los cuerpos en particular*. España: Prensas Universidad de Zaragoza.

-
- Euler, L. (1990d). Carta LXVIII: *Exposición más detallada de la disputa de los filósofos sobre la causa de la gravitación universal*. España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico: Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento* (L. Meana, Trad.). Alianza Universidad.
- Feyerabend, P. (1986). *Tratado contra el método* (D. Rives, Trad.). Editorial TECNOS.
- Ferreirós, J., y Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34(102), 47–86. <https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.2002.979>.
- García, E., y Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, 31, 7–24. <http://www.scielo.unal.edu.co/pdf/pafi/n31/n31a01.pdf>.
- García, E. (2011). Modelos de explicación, basados en prácticas experimentales. Aportes de la filosofía historicista. *Revista Científica*, 14, 89–96. <https://doi.org/10.14483/23448350.3704>.
- Henry, J. (2000). *Metaphysic and the origins of modern science: Desartes and the importance of laws of nature*. Universidad de Durham.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645–670. <https://doi.org/10.1080/0950069032000076643>.
- Henry, J. (2007). Newton y el problema de la acción a distancia. *Estudios filosóficos*, 35, 189 - 226. <https://doi.org/10.17533/udea.ef.12759>,
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5a edición.). McGraw-Hill Interamericana.
- Hodson, D. (2013). La educación en ciencias como un llamado a la acción. *Archivos de Ciencias de la Educación*, 7(7), 1–15. Recuperado de http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.6577/pr.6577.pdf.

-
- Hernández, V. L. (2022). Las fases de Venus como prueba para argumentar sobre el movimiento de la Tierra: el paradigma newtoniano y la cosmología actual. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 1-18. <https://doi.org/10.25267/>.
- Iglesias, M. (2004). El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: Una nueva perspectiva de la actividad experimental. *Opción*, 44, 98–119. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2475906>.
- Institución Educativa Comercial de Envigado (2019). Proyecto Educativo Institucional (PEI). Envigado.
- Koyré, A. (1965). Appendice C: ¿Gravity an Essential Property of Matter? En Koyré, *Newtonian Studies* (pp.149-164). The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1969). *Posdata*. In Breviarios. Fondo de la Cultura Económica (Ed.), *La estructura de las revoluciones científicas* (pp. 268–319).
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los Programas de investigación científica*. Alianza Editorial.
- Latour, B. (1991). Pasteur y Pouchet: heterogénesis de la historia de las ciencias. Michel C. (Ed.), *Historia de las Ciencias* (pp. 407 - 501). Cátedra.
- Latour, B. y Woolgar, S, (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. In S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (1998). *Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales* [Archivo PDF]. https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-89869_archivo_pdf5.pdf.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2006). *Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas* [Archivo PDF]. https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-340021_recurso_1.pdf.

-
- Merlinsky, G. (2006). La entrevista como forma de conocimiento y como texto negociado: notas para una pedagogía de la investigación. *Cinta de Moebio: Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, 27. 248 - 255. <https://www.moebio.uchile.cl/27/merlinsky.html>.
- Machado, I., Restrepo, E. y Sossa, I. (2011). *Recontextualización en la enseñanza del concepto de gravedad a partir de un análisis histórico-epistemológico de la perspectiva galileana* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional de la Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/21756>.
- Matthews, M. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), *Advances in nature of science research* (pp. 3-26). Dordrecht: Springer.
- Monsalve, A. y Pérez, E. (2012). El diario pedagógico como herramienta para la investigación. *Itinerario Educativo*, 26, pp. 117-128. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/Itinerario/article/view/1406/119>.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2015). *Derechos Básicos de Aprendizaje de Ciencias Naturales* [Archivo PDF]. https://eduteka.icesi.edu.co/pdfdir/DBA_CNaturales.pdf.
- Menéndez, V. (2018). La historia de la ciencia como herramienta didáctica: la enseñanza de la gravedad. *Revista De Enseñanza De La Física*, 30 (número extra), 255–261. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/22059>.
- Newton, I. (1987). *Principios matemáticos de la filosofía natural* (E. Rada, Trad.). Madrid, Alianza editorial.
- Newton, I (1998). Cuatro cartas de Sir Isaac Newton al doctor Bentley que contienen algunos argumentos en favor de la existencia de una deidad (1692–1693). *Revista de filosofía DIÁNOIA*, 44(44), 113–135. <https://doi.org/10.22201/iifs.18704913e.1998.44.655>.
- Popper, K.R. (1980). *La lógica de la investigación científica*. Buenos Aires: Paidós.
- Popper, K.R. (1991). *Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico*. Barcelona: Paidós.
- Piñuel, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Sociolinguistic Studies*, 3(1), 1–42. <https://doi.org/10.1558/sols.v3i1.1>.

-
- Paul, R., & Elder, L. (2005). *Guide for educators to critical thinking competency standards: Standards, principles, performance indicators, and outcomes with a critical thinking master rubric*. Foundation for Critical Thinking., 1–66. www.criticalthinking.org.
- Pearce, J. (2013) The Potential of Perspectivism for Science Education. *Educational Philosophy and Theory*, 45(5), 531-545. <https://doi.org/10.1080/00131857.2012.732013>.
- Romero, A. y Ayala, M. (1996). La concepción euleriana de la fuerza. *Física y cultura: cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, 3, 19-26.
- Romero, A. (2007). La búsqueda de los principios fundamentales de la mecánica: Euler y D'alembert. *Praxis filosófica*. 24, 21-43.
- Ruiz, D. A. (2012). Descartes y el concepto de leyes de la naturaleza. *Versiones. Revista De Filosofía*, 2, 7–23. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/versiones/article/view/20554>.
- Restrepo, C., Guzmán, J.F y Romero, A. (2013). La experimentación cualitativa y exploratoria como escenario de procesos argumentativos en la enseñanza de las ciencias. En A. Romero, B. Henao y J. Barros (Eds). *La argumentación en la clase de ciencias: Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (pp. 71-98). Universidad de Antioquia.
- Romero, A. (2013a). Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: el caso de la experimentación en la clase de ciencias. En A. Romero, B. Henao y J. Barros (Eds). *La argumentación en la clase de ciencias: Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (pp. 71-98). Universidad de Antioquia.
- Romero, A. (2013b). La experimentación como potenciadora de reflexiones de reflexiones sobre la naturaleza de las ciencias. En J.F. Malagón, M.M. Ayala y S. Sandoval. (Eds). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización un sentido para la enseñanza de las ciencias* (pp. 39 - 55). Universidad Pedagógica Nacional.
- Solís, C. (1994). *Razones e intereses: la historia de la ciencia después de Kuhn*. Ediciones Paidós, Ibérica S.A.
- Shapin, S. (1995). Una bomba circunstancial. La tecnología literaria de Boyle. In G. Pineda (Ed.), *Callon, Michel y Latour, Bruno, La science telle qu'elle se fait, La découverte, Paris, 1991*.

-
- Stake, R. (1999). *Investigación con estudios de caso* (2.^a ed.). Ediciones Morata.
- Steinle, F. (2003). ¿Experimentos románticos? El caso de la electricidad. *Ciencia y Romanticismo*, 4, 185–227.
- Santos, G. E. (2015). *Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de fuerza gravitacional a partir del estudio del movimiento de los planetas y satélites* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55964>.
- Santos, B.D. y Do Nascimento, J.W. (2020). O ensino de gravitação universal na educação básica: uma reflexão a partir de pesquisas brasileiras. *Research, Society and Development*, 9(11), 1-18. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9969>.
- Solbes, J., Cantó, J., Mayoral, O. y Pina, T. (2021). ¿Qué explica la Física sobre la influencia de la Luna en la Tierra? Una propuesta de enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 1 - 19. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3701.
- Toulmin, S. (2003). *Regreso a la razón*. Barcelona: Ediciones Península.
- Teixeira, E. S., Freire, O. y Greca, I. M. (2015). La enseñanza de la gravitación universal de Newton orientada por la historia y la filosofía de la ciencia: una propuesta didáctica con un enfoque en la argumentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 205-223. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1226>.
- Velilla, H. (2018). *El concepto de formación Bildung en la didáctica de las ciencias. La relación entre la didáctica teórica-formativa de Wolfgang Klafki y los estudios metacientíficos* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional de la Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/19591>.

Anexos

Anexo A. Cartilla Didáctica sobre el Fenómeno de la Gravitación Construida para la IECE

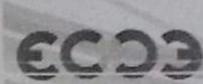
En vista de que la cartilla didáctica posee una cantidad considerable de páginas se optó por ponerla en este apartado a través del siguiente Linktree: <https://linktr.ee/juan.acevedoq>. Allí se encuentra este producto de investigación en formato PDF. También pueden acceder al Linktree a través del siguiente código QR:



Anexo B. Acta de Consentimiento Informado



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SEMINARIO DE PRÁCTICA II
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN



La enseñanza y el aprendizaje de la física y las matemáticas: rol de la experimentación en la enseñanza de la Física

ACTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo [Redacted Name], identificado(a) con C.C. [Redacted ID] como acudiente y adulto responsable, y

Yo [Redacted Name], identificado(a) con T.I. [Redacted ID] acepto participar voluntariamente en la investigación *Reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación: una posible vía para generar procesos discursivos entre estudiantes del grado décimo de la Institución Educativa Comercial de Envigado* desarrollada por Maribel Hoyos Valencia, Juan Camilo Echavarría Villa y Juan Pablo Acevedo Quevedo estudiantes de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

Declaro haber sido informado/a de los objetivos y procedimientos del estudio y del tipo de participación. En relación con ello, acepto participar en las actividades, y consiento que se realicen registros fotográficos y grabaciones en audio y video.

Declaro haber sido informado que las fuentes de información como escritos, intervenciones en el grupo de discusión, registros fotográficos, grabaciones de audio y video, se constituyen en bases de datos para los propósitos señalados, y que estos datos que se recojan serán de carácter confidencial y no se usarán para ningún otro propósito fuera de los de este estudio.

Declaro haber sido informado/a que mi participación no involucra ningún daño o peligro para mi salud física o mental, que es voluntaria, que puedo hacer preguntas en cualquier momento del estudio y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para mí. De igual forma declaro haber sido informado/a que por mi participación no tendré ninguna compensación económica.

Declaro saber que la información entregada será confidencial y anónima. Entiendo que la información será analizada por los investigadores en forma grupal y que no se podrán identificar las respuestas y opiniones de cada participante de modo personal. Declaro saber que la información que se obtenga será guardada por el investigador responsable en dependencias de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y será utilizada sólo para este estudio.

[Redacted Signature]
Firma del Estudiante participante
T. I. [Redacted ID]

[Redacted Signature]
Firma del Acudiente y adulto responsable
C.C. [Redacted ID]

Anexo C. Certificado de la Participación en el Onceavo Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía

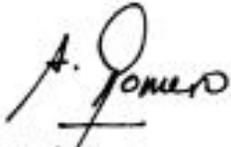


11 Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía

EL COMITÉ ORGANIZADOR CERTIFICA QUE:

Juan Pablo Acevedo Quevedo

Participaron con el taller titulado *Formación de maestros en física desde una perspectiva sociocultural, el caso de la gravitación*, en el **11 Congreso Nacional de Enseñanza de la Física y la Astronomía**, realizado del 9 al 11 de noviembre del 2022, en la Universidad de Antioquia, Medellín -Colombia.



Ángel Enrique Romero Chacón
Coordinador Comité Organizador

Anexo D. Certificado de participación en el noveno Seminario Internacional de Educación en Ciencias Naturales (SIENCINA)






IX SEMINARIO INTERNACIONAL DE ENSEÑANZA EN LAS CIENCIAS NATURALES

La Red Latinoamericana de Educación en Ciencias Naturales (RedLaECiN) y el Semillero de Investigación ENCINA de la Universidad Surcolombiana
Certifican que:

El trabajo titulado ***“Reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia en torno al fenómeno de la gravitación: una posible vía para generar procesos discursivos en un grupo de estudiantes del grado décimo de una Institución Educativa pública en el municipio de Envigado, Antioquia (T1P49)”*** de autoría de Juan Pablo Acevedo, Juan Camilo Echavarría, Maribel Hoyos & Yaneth Giraldo, fue presentado en Modalidad de Ponencia Oral en el **9º Seminario de Enseñanza en las Ciencias Naturales**, desarrollado desde la Universidad Surcolombiana en Neiva, Colombia, en modalidad híbrida con una intensidad horaria de 45 h.

Agradecemos su participación en el seminario.
El presente se expide a los 25 días de Noviembre del año 2023.


Dr. Jonathan Andrés Mosquera
Coordinador General


Dr. Elías Francisco Amórtegui
Director Semillero ENCINA



Anexo E. Ejemplo de Unidad de Análisis de la subcategoría Construcción y defensa de explicaciones científicas

Categoría	Subcategorías	Indicios	Unidades de análisis
Experimentación cualitativa exploratoria	Construcción y defensa de explicaciones científicas	Construyen dispositivos experimentales y los usan como punto de apoyo para justificar o defender sus explicaciones sobre situaciones físicas relacionadas con el fenómeno de la gravitación.	<p>Fragmento de la actividad de apertura de G1 en la S2 (A partir de sus saberes previos lanzan una hipótesis sobre el porqué siendo la gravedad una fuerza de atracción los planetas no se chocan, eso es clave pues en el montaje experimental de la actividad de apertura centran su atención en demostrar experimentalmente su veracidad).</p> <p>E3: Lee la pregunta: ¿Cómo explicas el hecho de que en el sistema solar los planetas no choquen entre sí, contra el sol o contra sus satélites?</p> <p>E5: Bueno en el sistema solar es por la órbita que...</p> <p>E2: Por la ley de Newton.</p> <p>E5: ¿Cuál ley de Newton?</p> <p>E2: ¡La de que una fuerza no será... ah! es que no me acuerdo.</p> <p>E4: La que una fuerza no será atraída por una fuerza menor</p> <p>E2: Que en el espacio desde un punto... que, si lanzan un cohete, él se va a seguir moviendo hasta que otra fuerza le quite ese movimiento.</p> <p>E4: Pero no, pero por qué no se chocan entre ellos.</p> <p>E2: Porque ya tienen el movimiento y no hay una fuerza exterior que les haga cambiar.</p> <p>E5: O de pronto si hay, pero no es muy...</p> <p>E4: Significativa.</p> <p>E5: No es lo suficientemente atractiva para que eso deje de estar donde está.</p> <p>E2: Un cuerpo mantendrá su movimiento hasta que otra fuerza lo haga cambiar.</p> <p>E3: La pregunta no es esa, su respuesta no responde la pregunta. Piensan un rato....</p> <p>E2: Hay un equilibrio de fuerzas, entonces estas generan que tengan su propio movimiento y si entrara una fuerza nueva cambiaría el equilibrio.</p>

			<p>E4: Los cuerpos ya tienen su movimiento y este movimiento por las fuerzas que ya tiene no se ve afectado entre ellas y no cambia.</p>
			<p>Resumen del trabajo experimental de G1 al construir en la actividad de desarrollo de la S2 su sistema solar newtoniano. (Allí se evidencia cómo ellos se centraron solo en justificar su hipótesis)</p> <p>E3: Al experimentar con los materiales los clips fueron atraídos por el imán, al poner varios imanes y una cadena de clips se sostenían y uno empezó a darle vueltas en el imán que más fuerza tiene (el de parlante), o sea cuando el profesor soltó los clips y había un imán cerca, entonces todos los clips se fueron encima y ya E2 sacó una cadena de clips, empezamos a medir y en un punto eso medio giraba y empezó a dar vueltas, porque como no estaba tan centrado en el imán grande entonces empezó a girar buscando el centro del imán grande. (...) Los imanes pequeños los fuimos moviendo hasta que llegó un punto como que la fuerza de los pequeños se equilibró con la del grande porque cuando no estaban los imanes pequeños en un punto se iba directo al centro del más grande, (...) y con los pequeños hacía que no se fuera derecho, sino que poquito a poco fuera más lento. (...) Lo que nosotros hicimos fue sostener el clip en el aire encima del grande y al poner los otros dos, mantenían la órbita y el giro alrededor, y en un punto se iba al centro, pero los otros dos mantenían luego la órbita.</p>
			<p>Dibujos, fotos y escritos consignados en el taller de la S2 sobre los procesos experimentales realizados por el G1. (ver figuras 20, 21 y 22).</p>

Fragmentos de la discusión que tuvieron los integrantes del G2 en la actividad de desarrollo de la S2 respecto a las diferencias entre tender y caer hacia al Sol, y al por qué los planetas no se chocan entre sí, sabiendo que la fuerza gravitacional es de atracción.

Fragmento 1 (diferencias entre caer y tender hacia el Sol del G2)

E9: ¿Es posible afirmar que los planetas en el sistema solar caen hacia el sol?

E7 y E8: No caen, giran:

E6: ¡Ah!... -se queda pensando un rato y afirma- si caen.

E7: ¿Por qué caen? No comprendo por qué caen., porque caer pues es... se cayó.

E6: Porque es que el sol es el que más masa tiene de todo el sistema solar y si giran alrededor del sol es porque el sol los está atrayendo a todos los planetas... ¿cierto?

E8: Pero no caen hacia el sol

E7: No, no caen, giran.

E6: Pero están girando, porque están cayendo, solo que como tienen tanta masa los planetas pues no se van del todo hacia el sol y como están impulsados, entonces se mantienen en órbita.

E7 y E8: Pero no caen hacia el sol.

E7: Bueno, creo que nosotros tenemos una definición de caer, que es básicamente al piso, pues caernos, como en caída libre, pues, hacia abajo, tenemos esa construcción mental por decirlo así.

E6: Es como el impulso.

E7: ¿Y qué les da el impulso?

E6: Solo que ellos, como son masas tan grandes lo hacen de forma más lenta.

E7: ¿O sea que tú tienes presente que en algún momento vamos a llegar al sol, como si fuera una espiral?

E6: Pues puede ser, pero dentro de mucho...

E7: Porque una manera que se caigan fuera que el sol fuera el centro de una espiral hacia abajo.

E6: Pues no, no, no. Incluso puede que no porque, es que ellos se mantienen en órbita, es como si...

E7: Entonces no...

E6: Pero si cae, yo diría que sí.

E7: Yo digo que no, ustedes que dicen -se refiere a **E8** y **E9**-

E8: Pues... yo diría que sí.

E6: Ay, lo convencí

E8: Porque si están girando, no siempre va a estar paralelo, como el sol los atrae, siempre van a ir lentamente.

E7: Pero no caen, ese caen, no me gusta.

E6: Están cayendo, cómo van a girar y ya, es que caigan no implica directamente que se vayan hacia allá, porque es

que son masas más grandes.

E7: Mmm, ¿Plutón todavía es un planeta? o ya no se define como un planeta?

I2: ¿Cómo se define un planeta? Hay tres condiciones para considerarlo un planeta, la primera es que sea esférico, la segunda es que esté girando alrededor del sol y la tercera es que limpie su órbita, que es lo que pasa, que Plutón era el noveno planeta y en su órbita pasaba por el cinturón de Kuiper, que es un cinturón de asteroides, que es ese camino lleno de rocas, el no limpia esa zona, el entra a esa zona y vuelve y sale, pero la deja tal como está, no tiene suficiente masa para hacer más gravedad y atraer todos esos pequeños pedazos, entonces es un planeta enano.

E6: O sea que cuando hablamos de un planeta-planeta, sería un planeta no enano.

E7: Bueno, si seguimos la hipótesis de que la gravedad hace que los objetos caigan entonces está bien, pero caen alrededor del sol, no directamente al sol.

E6: Y si ponemos las dos cosas...

Fragmento 2 (Justificación del por qué los planetas no chocan con el Sol del G2)

E9: Lee la pregunta ¿cómo explicas el hecho de que en el sistema solar los planetas no choquen entre sí, contra el sol, o contra los satélites?

E6: Porque los planetas tienen distinta masa, entonces hay planetas, ah no...

E7: Si lo ponemos en masa, si uno es muy pequeño es más pesado que el más grande, es que no sé, hay algo que es como así, ¿no? Entre más pequeño es más pesado y el más grande menos.

I2: Eso tiene que ver con la densidad, es decir, supongamos que ustedes tienen este borrador, y otro de metal, del mismo tamaño, ¿cuál es más pesado?

E7: El de metal.

E6: Es entonces por la densidad del planeta, es que Júpiter es el más grande, pero es puro gas, entonces por eso está más lejos.... aunque no estoy seguro.

E7: Yo lo planteo de esta manera, cada planeta que está más cerca del sol es más pesado por decirlo así, me parece, porque entre más cerca esté el objeto en su órbita, es más fuerza la que debe hacerle el Sol. Entonces Mercurio, si era Mercurio, es el primero, puede que sea el más pesado el que menos necesita más órbita, mientras que Júpiter que es más gaseoso, no necesita tanta fuerza por parte del Sol, está más alejado y así sucesivamente, ¿si me entendieron?

E6: ¿Y eso qué tiene que ver?

E7: Que por esa ordenación evita que se choque,

E7: Ah bueno si, de acuerdo.

		<p>Conciben a la experimentación como un proceso que más allá de verificar una teoría revela la complejidad de construir modelos, explicaciones y acuerdos sobre los fenómenos que suceden en un mundo natural construido socialmente.</p>	<p>Resumen del Trabajo Experimental realizado por G2 en la S2 allí se evidencia la vinculación entre su experiencia y la forma en cómo explican el por qué los planetas no chocan con el Sol</p> <p>E7: Bueno nuestra recreación fue esta, se la voy a explicar, el imán grande constituye como si fuera el sol, en nuestro planteamiento dijimos que el sol tiene una fuerza de gravedad que hace que cada órbita sea diferente, por eso los planetas no se chocan, entonces cada órbita es diferente de acuerdo con qué tanta fuerza gravitacional necesita el planeta, entre más cerca más necesita y entre más lejos menos necesita, básicamente hicimos lo mismo, entonces los clips simulan planetas.</p>
<p>Dibujos y escritos consignados en el taller de la S2 sobre los procesos experimentales realizados por el G2 (ver figuras 23 y 24).</p>	<p>Mesa de diálogo de la S2, comentarios de algunos estudiantes luego de que hubiese una tensión cuando los representantes discutieron sobre sus sistemas solares newtonianos.</p> <p>E4: ¡Jajaja, ganamos el debate! (Estudiante del G1)</p> <p>E9: Es que me sacaron la piedra porque desconocieron nuestro trabajo. (Estudiante del G2).</p> <p>En la entrevista semiestructurada E9 dijo lo siguiente respecto a lo que sucedió en la mesa de diálogo.</p> <p>E9: no éramos capaces de admitir que el otro tenía razón (...) o que tenía un mejor análisis entonces no nos pudimos poner de acuerdo, literalmente en ninguna pregunta</p>		
<p>Experiencias de los estudiantes en la actividad del ascensor (relación teoría - experimentación), ¿realmente la experiencia siempre verifica la teoría?</p>			

E5: en el caso del ascensor fue todo un descontrol, un caos, porque todos quedamos como, ¿por qué?, ¿cómo así?, ¿qué pasó? todos los hicimos igual, como decíamos con E4, es que él tuvo un peso más, porque un profesor se montó también en el ascensor, pero vea que, al otro grupo, a otros dos les dio distinto, y a nosotros tres por qué (habla de los integrantes del G1 excepto E4) nos dio igual, uno se cuestiona mucho, ahí sí se puede decir, es que, si falla, no siempre pero sí.

E2: (...) la del ascensor a mí personalmente, o sea, la explicación, por así decirlo, digamos la verdad más aceptada que era que cuando baja el ascensor baja el peso y cuando sube el ascensor sube de peso. Antes de hacer el experimento, yo pensaba eso, que si el ascensor subía íbamos a pesar más, pero entonces al final con el experimento, o sea, a mí me dio un resultado diferente al que se suponía que tenía que dar, entonces no sé cómo que, no sé se me cruzaron los cables porque no le encontraba lógica, no le encontraba sentido.

E6: (...) En la física, las verdades son falsables, no creo que se encuentre una verdad objetiva, es decir, en la física si caben los errores (...) con base a lo aprendido en el semillero creo que la experiencia para mí en el ascensor fue bastante importante, y estoy seguro de que para mis compañeros fue bastante fructífera, porque cuando iba a realizar el experimento estaba un 99% seguro de que iba a suceder lo que yo creía que iba a suceder, con lo que yo creía que era la verdad, respecto al fenómeno gravitatorio. Pero al entrar en el ascensor me di cuenta que lo que yo creía se desbarató porque al pesarme funcionaba de una manera distinta a como yo pensaba que iba a funcionar, eso lo relaciono con que mi experiencia fue distinta a lo que dicen que tiene que pasar y bueno qué fue lo que hizo que esa experiencia mía sucediese de una forma distinta, bueno eso me obliga, o sea, es necesario que me ponga a pensar sobre ello, a reflexionar y me ponga a cuestionar sobre esa verdad que me implantaron, será qué eso es cierto o falso, o será que hay otros factores como, por ejemplo, el ascensor estaba malo o la pesa digital estaba mal calibrada, entonces por eso digo que la física, la ciencia por así decirlo, no es algo que sea totalmente objetivo, verdadero e irrefutable, es decir, si se puede considerar y tenemos que estar pensando en las bases porque podemos estar equivocados siempre.

E7: (...) Te voy a contar algo muy curioso, en estos días le estaba comentando a mi hermano sobre la actividad del ascensor, mi hermano ya es graduado, y él me dijo que era imposible que haya dado completamente diferente, en el

ámbito de que cuando subíamos bajaba el peso y cuando bajábamos aumentaba, nos dio igual pero diferente (se refiere al supuesto teórico que su grupo G2 tenía), entonces yo le decía ... pues así nos dio, y él decía que era imposible, pero yo le preguntaba por qué imposible, son muchas variables, tú puedes hacer un experimento y yo hacer lo mismo, y no necesariamente nos va a dar lo mismo, o sea son muchas variables que uno debe considerar a la hora de experimentar, entonces me parece muy genial que nos haya dado tan diferente, porque a la hora de construir hipótesis y todo eran totalmente diferentes pero con un punto específico, el experimento, entonces era muy genial, muy didáctico y muy bueno.

E9: (,,,) Con la experiencia del ascensor estábamos era más que todo confundidos por los datos que nos había arrojado el ascensor (...) a nosotros nos salió al revés literal o sea se supone que cuando subíamos el peso debería subir, pero nosotros subíamos y el peso nos bajaba, y bajábamos y el peso nos subía, entonces estábamos confundidos con eso (...) es que como le digo en el colegio a nosotros nunca nos han puesto experimentos así, pues si me entiende siempre ha sido teoría, taller y evaluación entonces era como algo nuevo para nosotros, diría yo que para la mayoría de nosotros, a menos de que ya hubiésemos estado en algún semillero extra del colegio, y eso que los semilleros del colegio eran jmm más teoría, y eso que cuando había, porque eso como que ya lo quitaron.

Anexo E. Registro Fotográfico





